

H. GIBERT

**TECHNOLOGIE**

MASSON ET C<sup>IE</sup> PARIS

MASSON ET C<sup>IE</sup>  
ÉDITEURS

12<sup>f</sup>

A dater du 1<sup>er</sup> Mai 1921  
nouveaux ouvrages 40%  
sur ce prix

MASSON & C<sup>IE</sup>

Majoration temporaire de 40%

**RÉDUITE A 25%**

sur les prix de Catalogue  
des ouvrages scolaires

Décision du Syndicat des Éditeurs  
du 1<sup>er</sup> avril 1921



1257250/0 150



La Technique industrielle  
par Louis de Larroy.  
de l'Académie des Sciences.

1 vol. - 337 p. - 1930.

85 francs

Chez Bééranger, Paris

# Technologie

**A LA MÊME LIBRAIRIE**

**OUVRAGES POUR L'ENSEIGNEMENT PRIMAIRE SUPÉRIEUR**

*Rédigés conformément aux programmes du 26 juillet 1909*

- Cours de Géographie**, par MARCEL DUBOIS et E. SIEURIN.  
 1<sup>re</sup> année. — Aspects du globe. La France. 4<sup>e</sup> éd., avec 221 fig. . . . . 5 fr. 50  
 2<sup>e</sup> année. — L'Europe (moins la France), 3<sup>e</sup> éd., avec 177 figures . . . . . 5 fr. 50  
 3<sup>e</sup> année. — Le Monde (moins l'Europe), 3<sup>e</sup> éd., avec 239 figures . . . . . 5 fr. 50
- Cartes d'Etude pour servir à l'Enseignement de l'Histoire et de la Géographie**, par M. DUBOIS et E. SIEURIN.  
 1<sup>re</sup> année. — I. Moyen âge et Temps modernes. — II. Principaux aspects du globe. La France, un atlas in-4°, avec 56 cartes et 220 cartons, 15<sup>e</sup> éd. . . . . 5 fr. 50  
 2<sup>e</sup> année. — I. Époque contemporaine. — II. L'Europe (moins la France), un atlas in-4°, avec 58 cartes et 200 cartons, 13<sup>e</sup> édition . . . . . 5 fr. 50  
 3<sup>e</sup> année. — I. Le Monde au XIX<sup>e</sup> siècle. — II. Le Monde (moins l'Europe), un atlas in-4°, avec 58 cartes et 140 cartons, 14<sup>e</sup> édition . . . . . 5 fr. 50
- Cahiers Sieurin.**  
 1<sup>re</sup> année. — Principaux aspects du globe. La France. 5<sup>e</sup> édition. . . . . 2 fr. 20  
 2<sup>e</sup> année. — L'Europe (moins la France). 5<sup>e</sup> édition . . . . . 2 fr. 20  
 3<sup>e</sup> année. — Le Monde (moins l'Europe) 5<sup>e</sup> édition. . . . . 2 fr. 20
- Cours d'Histoire**, par E. SIEURIN et C. CHABERT.  
 1<sup>re</sup> année. — Histoire de France (XVI<sup>e</sup> siècle-1789), 9<sup>e</sup> édit. avec 171 fig. . . . . 5 fr. »  
 2<sup>e</sup> année. — Histoire de France (1789-fin du XIX<sup>e</sup> siècle), 9<sup>e</sup> éd. avec 132 fig. . . . . 5 fr. »  
 3<sup>e</sup> année. — Le Monde au XIX<sup>e</sup> siècle, 9<sup>e</sup> édition, avec 95 figures . . . . . 5 fr. »
- Cours d'Instruction civique**, par A. MÉTIN. 6<sup>e</sup> édit., revue . . . . . 3 fr. 80  
**Cours de droit usuel**, par A. MÉTIN. 6<sup>e</sup> édition, revue . . . . . 3 fr. 80  
**Cours d'Économie politique**, par A. MÉTIN. 6<sup>e</sup> édit., revue. . . . . 3 fr. 80  
**Textes français** (Lectures et explications), par CH. WEVER, 4<sup>e</sup> éd. . . . . 7 fr. »
- Cours d'Histoire naturelle**, par M. BOULE, H. LECOMTE et CH. GRAVIER.  
 1<sup>re</sup> année. — 5<sup>e</sup> édition, avec 364 figures . . . . . 5 fr. 50  
 2<sup>e</sup> année. — 4<sup>e</sup> édition, avec 476 fig. et 7 planches hors texte en coul. . . . . 7 fr. »  
 3<sup>e</sup> année. — 4<sup>e</sup> édition, avec 488 figures . . . . . 7 fr. »
- 12 Leçons d'Hygiène** par les D<sup>rs</sup> WURTZ et H. BOURGES, 2<sup>e</sup> éd. . . . . 5 fr. »
- Cours d'Arithmétique**, par HENRI NEVEU, 8<sup>e</sup> édition . . . . . 7 fr. »
- Cours d'Algèbre**, par HENRI NEVEU, 8<sup>e</sup> édition . . . . . 7 fr. »
- Cours de Géométrie**, par H. NEVEU et H. BELLENGER.  
 1<sup>re</sup> année. — 4<sup>e</sup> édition, avec 326 figures . . . . . 5 fr. »  
 2<sup>e</sup> année. — 4<sup>e</sup> édition, avec 270 figures . . . . . 6 fr. »  
 3<sup>e</sup> année. — 3<sup>e</sup> édition, avec 363 figures . . . . . 7 fr. »
- Cours de Comptabilité**, par G. FAURE, 6<sup>e</sup> édition . . . . . 7 fr. »
- Cours de Physique et de Chimie**, par P. MÉTRAL.  
**Jeunes gens.** 1<sup>re</sup> année, 1 vol. avec 255 fig. . . . . 6 fr. »  
 (couverture marron) 2<sup>e</sup> année, 1 vol. avec 293 fig. . . . . 7 fr. »  
 3<sup>e</sup> année, 1 vol. avec 314 fig. . . . . 7 fr. »  
 On vend également : Cours de Physique (1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> années), 1 vol. . . . . 9 fr. 50  
 Cours de Chimie (1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> années), 1 vol . . . . . 8 fr. 50
- Jeunes filles.** 1<sup>re</sup> année, 1 vol. avec 210 fig. . . . . 6 fr. »  
 (couverture grise). 2<sup>e</sup> année, 1 vol. avec 217 fig. . . . . 5 fr. 50  
 3<sup>e</sup> année, 1 vol. avec 168 fig. . . . . 5 fr. 50  
 On vend également : Cours de Physique (1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> années) . . . . . 8 fr. »  
 Cours de Chimie (1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> années) . . . . . 7 fr. »
- Cours élémentaire d'Électricité industrielle**, par P. MÉTRAL.  
 2<sup>e</sup> édition avec nombreuses figures et exercices . . . . . 8 fr. »



404040/-192231

H. GIBERT

AGRÉGÉ DES SCIENCES PHYSIQUES  
DIRECTEUR DE L'ÉCOLE ARAGO



Notions

de

# Technologie

Conforme aux programmes du 26 Juillet 1909  
pour l'Enseignement primaire supérieur

Deuxième édition remaniée et augmentée

MASSON ET C<sup>IE</sup>, ÉDITEURS

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

1920

---

---

*Tous droits de reproduction,  
de traduction et d'adaptation,  
réservés pour tous pays.*

---

---

## PRÉFACE

---

*Nous avons cru utile d'enrichir cette nouvelle édition de quelques indications relatives à des sujets ayant un caractère d'actualité, comme : l'électro-métallurgie, les armes à feu (texte complètement remanié), l'aéroplane et son moteur, les nitrates et l'ammoniaque de synthèse, la synthèse de l'alcool avec des notions sur la chimie atomique, les allumettes chimiques et autres procédés d'allumage tels que briquets, auto-allumeurs..., le caoutchouc et ses dérivés, la photogravure (texte remanié et augmenté, etc.). Nous espérons que ces améliorations et compléments seront appréciés des lecteurs.*

---

Le présent ouvrage est rédigé conformément au programme des Écoles primaires supérieures de garçons (décret et arrêté du 26 juillet 1909) et s'adresse principalement aux jeunes gens qui fréquentent ces établissements; les élèves des Écoles pratiques de commerce et d'industrie, les artisans, les gens du monde même, y trouveront aussi des indications susceptibles de les intéresser.



La nécessité d'orienter l'enseignement populaire vers le domaine des applications pratiques est reconnue par tous les bons esprits ; il y a cependant un juste milieu à garder entre deux exagérations contraires : l'enseignement théorique à outrance, préoccupé uniquement de la coordination des faits et de leur explication ramenée aux lois scientifiques, et, d'autre part, l'enseignement exclusivement utilitaire, dépouillé de toute vue compréhensive et critique, de toute vertu éducative. Aussi, ce modeste ouvrage n'est ni un livre de « recettes utiles », ni évidemment un traité complet sur chacune des matières qui y sont exposées ; on y a délibérément sacrifié une foule de questions, intéressantes sans doute, mais non comprises expressément au programme : la préoccupation essentielle a été, non pas de dresser des spécialistes, mais d'exposer les principes qui, rationnellement, sont à la base de tout procédé industriel et, par cela même, d'éveiller l'intelligence en provoquant le goût d'études ultérieures plus avancées. Dans le même ordre d'idées, nous avons été très sobre de documents et chiffres statistiques dont on a l'habitude de bourrer les ouvrages et les cours de technologie ; car, pour les élèves, autant en emporte le vent ; il leur semble en effet absurde, et avec raison, de chercher à apprendre une multitude de chiffres qui changeront l'année suivante et qu'aucune mémoire humaine, à commencer par celle du professeur, n'est capable de retenir. Les documents officiels sont là pour quelque chose ! Il suffit de donner, de loin en loin, quelques nombres « ronds » faisant connaître *l'ordre de grandeur* des faits économiques étudiés.

Le sujet ainsi compris, et exposé paraît déjà suffisam-



ment chargé ; nous n'avons pas voulu, cependant, trop appauvrir les explications au point de les rendre inintelligibles pour les débutants ; un texte trop écourté n'est qu'un trompe-l'œil : c'est une charpente à rhabiller péniblement. D'ailleurs, l'impression typographique est faite en deux grosseurs ; le petit texte pourra être laissé de côté lors d'une première lecture.

Nous n'avons pas cru devoir ajouter un résumé à la fin de chaque chapitre ; ce soin nous paraissant incomber au professeur ou au lecteur qui doivent ainsi se forger à eux-mêmes l'armature intérieure de leur savoir, selon leur mode personnel de travail.

L'illustration a été particulièrement soignée ; nous nous sommes astreint, le plus souvent, à une représentation schématique, seule compréhensive, des divers appareils, sans nous borner aux vues d'ensemble, surtout celles « genre catalogue » qui n'apprennent guère rien de plus que le nom du fabricant.

Enfin l'œuvre entreprise, quoique modeste, est cependant très complexe et, ayant conscience de la difficulté et de l'étendue de notre tâche, nous recevrons avec reconnaissance les observations que la lecture pourra suggérer.

---



# NOTIONS

DE

# TECHNOLOGIE

---

## DÉFINITIONS PRÉLIMINAIRES — TECHNOLOGIE

Toute personne qui travaille régulièrement exerce une *profession*, ou un *état*, caractérisés par les occupations auxquelles elle se livre.

Le mot *métier* (du latin *ministerium*, service) se rapporte à toute profession manuelle ou mécanique : métier de forgeron, de boulanger, etc.

Une *industrie* (du latin *indo*, dans ; *struo*, je construis) est l'ensemble des procédés utilisés par l'homme pour transformer diverses matières afin de les rendre utilisables ou propres à un usage déterminé. Ces matières prennent ainsi une valeur plus grande, en raison précisément du salaire qu'a coûté la main-d'œuvre productrice et de diverses autres dépenses, ce qui fait dire que *l'industrie crée des richesses* par la mise en œuvre des matières premières.

Une *fabrique* (du latin *faber*, ouvrier) est l'établissement où s'exerce une industrie. On dit encore *manufacture* ou *usine*, ces mots étant souvent reçus avec des sens équivalents. Plus spécialement, une *manufacture* (du latin *manus*, main ; *facere*, faire) est un établissement où a lieu la fabrication en grand de certains objets exigeant — ou ayant exigé à l'origine — un travail à la main et qui occupe un grand nombre d'ouvriers :



manufacture de chaussures, de pianos, de tissus, etc. Dans une *usine* (du latin *usus*, usage) interviennent plus particulièrement le machinisme, les procédés chimiques ou extractifs, etc. : usine métallurgique, usine de produits chimiques, usine à gaz, usine élévatoire pour les eaux, etc.

Un *art* est l'ensemble des moyens employés pour exécuter un ouvrage ou un objet, exprimer ses sentiments ou sa pensée. Il y a autant de sortes d'arts que de professions : art de la poésie, de la peinture, arts mécaniques, etc.

La *Technologie* (du grec *techne*, art ou métier ; *logos*, discours) est cette partie du savoir humain qui traite des arts et des métiers, en général, c'est-à-dire la description et l'explication des procédés industriels. D'après cette définition, la technologie est en quelque sorte l'adaptation vivante de la science aux besoins de l'homme ; elle embrasse un champ immense, toujours en voie de changement, d'évolution ou d'extension et qu'il est impossible d'explorer complètement, même en se bornant seulement à l'essentiel, dans le cadre restreint d'un ouvrage élémentaire.

Nous nous contenterons donc ici de l'exposé succinct des traits généraux, des principes fondamentaux, laissant délibérément de côté une foule de questions cependant très intéressantes ou de procédés ingénieux.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il est utile de jeter un coup d'œil d'ensemble sur le chemin que nous avons à parcourir, sur les grandes divisions suivant lesquelles on peut classer les diverses branches de l'activité économique.

1<sup>o</sup> *Les industries extractives* ont pour but l'obtention des produits tout formés que la nature peut nous fournir directement, sans culture, c'est-à-dire sans soins préparatoires : comme, par exemple : la chasse, la pêche, l'exploitation des forêts et pâturages, des marais salants, des mines et des carrières ;

2<sup>o</sup> Les substances ainsi extraites sont utilisées soit sous leur forme primitive et naturelle, ou bien sont destinées à subir diverses transformations et prennent alors le nom de *matières premières*, parce qu'elles constituent le point de départ, l'aliment matériel d'autres industries dites *préparatoires élaborées*.



*trices* qui font subir à ces matériaux une préparation les transformant en d'autres produits de nature différente et plus appropriés aux besoins de l'homme ; comme, par exemple, l'*industrie sidérurgique* qui, partant du minerai de fer, lui fait subir un traitement physique et chimique qui aboutit à l'obtention du métal ; de même celle qui, s'emparant de la houille, la transforme en gaz d'éclairage et en coke, etc. On fait quelquefois rentrer ces industries élaboratrices dans la classe des industries extractives, mais par une extension du sens de ce mot.

Nous distinguerons, parmi les industries préparatoires élaboratrices, deux grandes classes : celle des industries métallurgiques et celle des industries chimiques. Les substances qu'elles élaborent ou mettent au jour : métaux, produits chimiques et industriels, ainsi que celles fournies par les *industries agricoles*, sont reprises par d'autres industries dites préparatoires *manufacturières, constructives* et autres qui font intervenir plus ou moins directement le travail manuel de l'homme, aidé ou même remplacé par celui de mécanismes, mais sans apporter de changement à la *nature chimique* des matières employées.

On peut encore envisager les industries en se plaçant au point de vue de l'*usage* particulier auquel est destiné l'objet fabriqué ; on est ainsi conduit à distinguer :

Les industries de l'alimentation ;

Les industries du vêtement et de la toilette ;

Les industries de l'habitation, de l'ameublement, de l'éclairage, du chauffage et de l'hygiène ;

Les industries de l'outillage (fabrication des instruments et outils, etc.). Ce système de classification présente un aspect séduisant, mais il est néanmoins artificiel, plutôt d'ordre économique qu'industriel, et, par cela même, gênant pour un exposé rationnel. Il conduit, par exemple, à éloigner des industries voisines comme celle des savons et des bougies et à rapprocher cette dernière de celle du gaz d'éclairage ou des lampes électriques avec lesquelles elle n'a aucun point commun. De même encore la fabrication des papiers peints, rangée dans les arts de l'hal i-

tation, se trouve ainsi séparée de l'impression sur tissus avec laquelle elle offre tant d'analogies.

Nous respecterons cependant ici l'ordre indiqué par le programme officiel, tout en faisant remarquer qu'il existe encore d'autres branches d'activité humaine, comme l'*industrie des transports* qui assure la circulation matérielle des êtres et des choses, les professions *commerciales* et *financières* (aboutissement logique des précédentes) qui mettent le producteur en rapport avec le consommateur, le produit à la portée de l'acheteur, et, par conséquent, sont les facteurs de la répartition des richesses dans le cycle de l'activité humaine économique. D'ailleurs ces questions de classification n'ont qu'une importance relative et, à proprement parler, il est impossible d'enfermer dans des compartiments rigides l'infinie variété des industries humaines, lesquelles, le plus souvent, se pénètrent dans la plus grande complexité.

---

## CHAPITRE I

### INDUSTRIES EXTRACTIVES

SOMMAIRE. — Mines et carrières. — Extraction des principaux matériaux employés dans les constructions. — Combustibles : houille, coke, tourbe et charbon de bois, anthracite, lignite, pétrole — Minerais.

Un peu d'attention suffit pour reconnaître quels sont les matériaux qui servent à édifier les habitations, établir les routes, construire les ponts, etc.

Ainsi, en examinant une maison en construction, on constate sans peine l'emploi de la *meulière* et du mortier de *ciment* pour les fondations exposées à l'humidité du sol, du *calcaire* et du mortier de *chaux* pour les murs extérieurs, de la *brique* et du *plâtre* pour l'intérieur, du *marbre* pour les cheminées, du *fer* pour les escaliers ou les planchers, des *tuiles*, de l'*ardoise* ou du *zinc* pour la couverture, etc.

Le même examen rapide nous fera connaître pour l'établissement des routes et chaussées, l'emploi du *grès*, du *bois*, du *macadam*, de l'*asphalte*, du *bitume*, du *granite*, etc.

Tous ces matériaux utilisés à cause de leurs qualités particulières de solidité et de durée, les combustibles naturels, les minerais et diverses substances salines se retirent des profondeurs du sol dans lequel on pratique des excavations connues sous les noms de *mines* ou de *carrières*.

A vrai dire la loi divise l'exploitation des substances minérales en trois catégories : *mines*, *minières* et *carrières*. Les mines comprennent les gisements de houille et autres combustibles et les minerais métalliques ; les carrières sont les lieux d'extraction des matériaux de construction : calcaire, marbre, pierre à plâtre, pierre à chaux, porphyre, granite, ardoise,



grès, sable. Les minières désignent les gisements de nature différente des mines et carrières, comme les minerais de fer d'*alluvion* dont la situation superficielle rend l'exploitation facile, les terres pyriteuses destinées à être converties en vitriol vert (sulfate de fer), les terres alumineuses et kaoliniques, les tourbes, etc.

L'exploitation des mines, minières et carrières peut s'effectuer de deux manières : soit à *ciel ouvert*, soit par *galeries souterraines*. « A ciel ouvert » signifie, comme chacun sait, une excavation creusée dans le sol et s'ouvrant directement à l'air libre, devant le ciel ; ce genre de travail est indiqué dans le cas où les matériaux à extraire sont situés à une faible profondeur ; dans le cas contraire on procède par galeries souterraines. Il est évident qu'une entreprise commencée à l'air libre peut, dans certains cas, devenir ensuite souterraine lorsque les filons ou les bancs de roche s'enfoncent dans le sol ou dans le flanc d'une montagne.

Les mines sont placées sous la surveillance de l'État qui perçoit un droit de dix francs par kilomètre carré et un droit proportionnel sur les produits nets. La demande de concession et d'ouverture d'une mine doit être adressée au préfet du département ; les puits et galeries de recherche ou d'extraction ne peuvent être ouverts ou s'avancer à moins de cinquante mètres des habitations ou des clôtures voisines. Des règlements spéciaux concernent la sécurité des ouvriers mineurs. La propriété d'une mine est distincte de celle de la surface, mais peut cependant se confondre avec celle-ci sur une même tête.

L'exploitation d'une minière souterraine exige l'autorisation du préfet ; celle d'une minière à ciel ouvert ne nécessite qu'une simple déclaration au maire qui la transmet au préfet ; il en est de même d'une carrière à ciel ouvert. Cependant l'exploitation d'une tourbière est soumise à une autorisation préalable donnée par le sous-préfet. Ainsi, nonobstant la déclaration prescrite, toute personne peut ouvrir une carrière soit sur son propre terrain, soit dans une propriété louée, mais à condition de ne pas creuser souterrainement sous les voisins et de rester à une soixantaine de mètres environ des bords de la route.



## I. — CARRIÈRES

La plupart des carrières et un certain nombre de mines s'exploitent à ciel ouvert. L'excavation se présente alors généra-

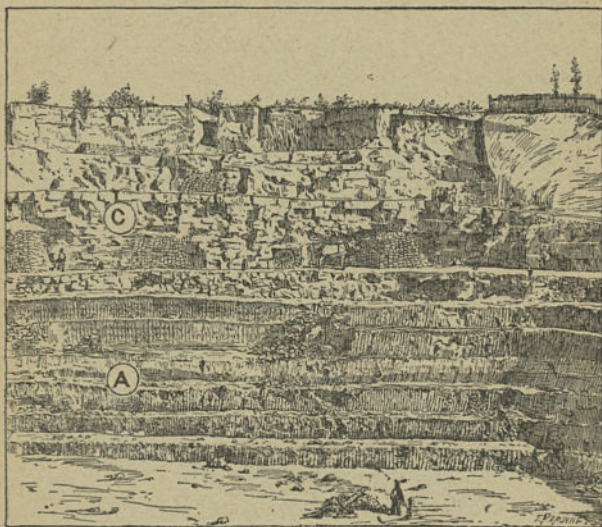


Fig. 1. — Exploitation à ciel ouvert aux environs de Paris.  
(Boule : Cours d'Histoire naturelle, 3<sup>e</sup> année).

En (A), extraction de l'argile plastique ; en (C), calcaire grossier.

lement sous l'aspect de gradins ou d'étages sur lesquels les ouvriers travaillent (fig. 1).

Les principaux outils employés sont, selon la dureté des matériaux, le *pic*, la *pioche*, la *pelle*, etc. (fig. 2).

Le pic et la pioche servent à pratiquer des entailles dans lesquelles on engage une *pince* ou levier et, en appuyant sur celui-ci, on détache un quartier de roche. Les corps durs tels que le granite, le porphyre, exigent l'emploi des *explosifs* tels

que la *dynamite* ; dans ce cas on commence par forer un *trou de mine* d'environ un mètre de profondeur qu'on remplit ensuite d'explosif et qu'on bouche enfin au moyen d'une *bourre* d'argile compacte ; on enflamme la charge soit électriquement et à distance, soit au moyen d'une *mèche* de longueur calculée pour que les ouvriers aient le temps de s'éloigner. Les trous de mine peuvent être creusés soit au moyen d'une *perforatrice*

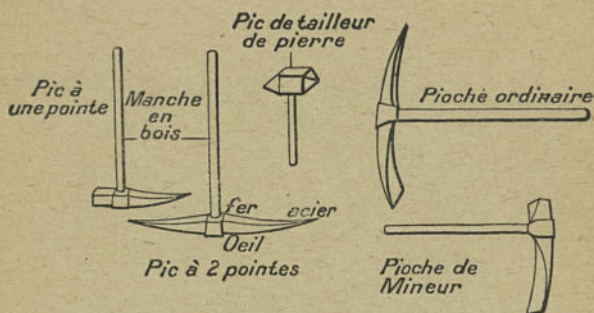


Fig. 2. — Principaux outils destinés à attaquer et à diviser les terrains et les roches.

mue mécaniquement (air comprimé, etc.) (fig. 3) soit, à la main, à l'aide d'une sorte de longue tige d'acier dite *fleuret* et agissant à la manière d'un trépan.

Le terme « *chantier* » désigne, d'une manière générale, l'endroit où sont occupés les ouvriers pour extraire ou travailler les matériaux de construction ; on dit : chantier d'abatage, etc.

Au point de vue de l'origine et du mode de formation, la croûte terrestre est formée, abstraction faite des minerais et des combustibles, par deux catégories très différentes de roches :

1° Les roches *ignées* (du latin *ignis*, feu) ou *plutoniennes*, formées, sous l'influence du refroidissement, par la solidification superficielle du globe terrestre primitivement fluide par suite de sa haute température ; puis le refroidissement, continuant, amena la condensation à l'état liquide de l'immense quantité de vapeur d'eau atmosphérique et la formation des *mers et océans* ;

2<sup>o</sup> Les roches *sédimentaires* (du latin *sedimen*, dépôt), ou *neptuniennes*, déposées plus tard, au sein des eaux, sous forme de couches ou *strates* parallèles, d'où encore le nom de roches *stratifiées* qu'on leur donne [du latin *stratum*, même sens].

Au point de vue de la composition chimique, on peut envi-

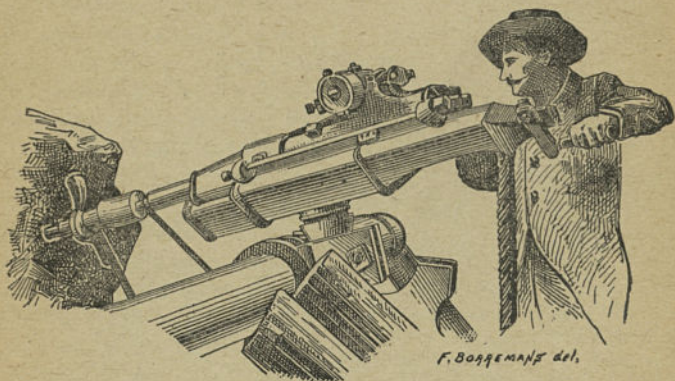


Fig. 3. — Mise en place et fonctionnement d'une perforatrice à air comprimé.

sager deux classes principales de roches : les *silicates* et les *carbonates*.

**Silicates.** — Les silicates forment les éléments minéralogiques essentiels des roches ignées et de beaucoup de roches sédimentaires; ce sont des corps renfermant comme constituant fondamental la *silice* [formule chimique  $\text{SiO}_2$ ], combinaison de l'*oxygène* (O) avec un autre corps simple appelé *silicium* (Si).

Cette silice a joué, à la haute température du globe primitif, le rôle d'*acide minéral* par excellence, éminemment apte à capter les bases métalliques en s'y combinant chimiquement. La plupart des roches silicatées sont complexes non seulement chimiquement, mais aussi physiquement, en ce sens qu'elles sont généralement formées par la juxtaposition de plusieurs minéraux; citons les *granites* et les *porphyres*, qui sont des roches éruptives; les *gneiss* et les *micaschistes*, qui sont des roches



*cristallophylliennes*, c'est-à-dire formées de cristaux disposés en feuillets.

Le *granite* doit son nom à sa contexture très apparente qui le montre formé par le mélange confus de trois minéraux diffé-

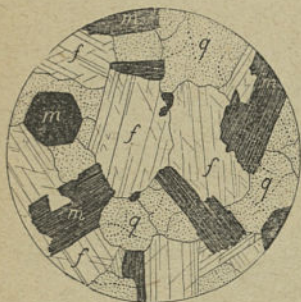


Fig. 4. — Structure du granite.  
(Boule : *Conférences de Zoologie*).  
m, grains de mica ; q, grains de quartz ;  
f, grains de feldspath.

rents ayant l'aspect de *grains* faciles à discerner, savoir : le *quartz* ou silice, le *feldspath* sous forme de cristaux opaques, parfois fort gros, à angles peu aigus, et enfin le *mica* en paillettes brillantes généralement brunes (fig. 4).

Le quartz est un minéral qui existe souvent à l'état isolé en amas ou en filons et se présente parfois sous forme de cristaux prismatiques à section hexagonale terminés par des pyramides ; il prend alors le nom de *cristal de roche* et

sert à fabriquer des objets de parure ou d'ornement, etc.

Les feldspaths sont des silicates où la silice est combinée à l'alumine et à une base telle que la potasse, la soude ou la chaux, etc. Ils se présentent soit cristallisés, soit formant la pâte confuse et amorphe d'autres roches. Sous l'action prolongée des agents atmosphériques dans la suite des temps géologiques, un grand nombre de feldspaths se sont décomposés et ont donné naissance aux argiles.

Le mica est un silicate encore plus complexe. Tout le monde connaît sa propriété, désignée sous le nom de *clivage*, de pouvoir être séparé en lames transparentes très minces, ce qui le rend propre à divers usages (vitres, verres de lampe, etc.).

On sait que le granite est une pierre très résistante qui sert à faire des bordures de trottoirs, des digues, des quais, etc. La France produit de très beaux granites (fig. 5).

La *granulite*, la *pegmatite* sont des variétés de granite à mica blanc.



Le *porphyre* (fig. 6) a pour caractère d'être constitué par une pâte à fins éléments quartzeux indiscernables à l'œil nu et dans laquelle sont englobés des grains visibles plus ou moins gros d'un autre minéral. Cette roche constitue une très belle pierre de construction, dure et résistante, diversement colorée



Fig. 5. — Carrière de granite près Vire (Calvados).

La roche se présente sous l'aspect de blocs énormes et sans fissures.

en rouge ou en vert, et dont on fait des colonnes, vases et autres ornements, tombeaux, etc.

Les *basaltes* et les *trachytes* sont, comme le porphyre, formés d'une pâte avec inclusion de grands cristaux, mais sans quartz. Les roches basaltiques, après s'être épanchées à l'état fluide, se sont divisées sous l'influence du refroidissement, en colonnes prismatiques hexagonales donnant lieu à des aspects naturels très pittoresques comme la grotte de Fingal (Écosse), battue par les flots, les « Orgues » de Bort, celles d'Espaly, etc. (Plateau Central, France). Le basalte est noir, le trachyte est moins dense, plus clair et, comme le premier, est employé dans les constructions.

Le *gneiss* est une roche composée des mêmes éléments que le

granite, mais disposés sous forme de couches parallèles comme les feuillets d'un livre; elle a moins d'application que le granite.

Les *micaschistes* ont une structure plus finement feuilletée due à l'absence de feldspaths. Dans les pays de montagnes, ils sont assez souvent utilisés pour la couverture des maisons, grâce à la facilité avec laquelle on peut les débiter en plaques d'assez faible épaisseur.



Fig. 6. — Structure du porphyre.

(Boule : Conférences de géologie.)

L'*argile* est un silicate d'aluminium combiné à une proportion plus ou moins forte d'eau et d'oxydes métalliques ou autres matières étrangères qui lui communiquent une coloration jaune, rouge, verte, bleue. On suppose que les argiles résultent de l'altération, sous l'influence des eaux primitives très acides (chargées d'acide

carbonique), des feldspaths granitiques ou porphyriques : le silicate alcalin qui entre dans la composition du feldspath, ayant été dissous par les eaux, a servi à constituer les réserves du sol en sels de potassium nécessaires à la fertilité végétale, tandis que le silicate d'aluminium insoluble a été simplement entraîné et a formé les dépôts argileux et limoneux (le limon est de l'argile mélangée à du sable et à un peu de calcaire : c'est le constituant essentiel de la bonne *terre arable* ou terre de culture.)

Les variétés assez pures d'argile forment avec l'eau une pâte *liante*, grasse au toucher (d'où le nom d'*argiles grasses* qu'on leur donne) et éminemment *plastique*, c'est-à-dire ayant à la fois assez de mollesse pour obéir docilement aux efforts de déformation qu'on exerce sur elle, et, en même temps; assez de fermeté pour conserver la forme qu'on lui a donnée; c'est à la réunion de ces deux propriétés en quelque sorte contradictoires qu'est due l'importance de l'argile et son emploi dans l'industrie de la céramique (porcelaine, grès, faïence, tuiles, briques, etc.). Le séchage et surtout la cuisson à haute tempéra-



ture donnent à l'objet fabriqué la durée et la consistance définitives, mais, pour cet usage, l'argile doit être mélangée à une proportion déterminée de sable siliceux afin de diminuer le *retrait*, c'est-à-dire la diminution de volume assez considérable qu'elle éprouve par la cuisson.

Une variété d'argile pure et très blanche est le *kaolin*, ou terre à porcelaine, dont il existe des gisements importants en Chine, en Saxe, en France (à Saint-Yrieix, près Limoges) : elle est plus ou moins mélangée de sables quartzeux et de débris feldspathiques.

Les autres argiles contiennent diverses bases : chaux, oxydes de fer ou de manganèse, etc., qui augmentent sa fusibilité et diminuent sa plasticité ; elles servent à fabriquer des poteries plus grossières : faïences communes, grès cérames, etc., et sont alors désignées sous le nom d'argiles *figulines*.

Certaines argiles dites *smectiques* ont la curieuse propriété d'absorber énergiquement les huiles et les corps gras liquides, tout en n'adhérant que faiblement aux étoffes ; on peut alors les séparer aisément de celles-ci au moyen de l'eau avec laquelle elles ne forment pas de pâte liante, mais se désagrègent en une poudre fine. Ces propriétés sont précieuses et utilisées pour le dégraissage des laines et draps foulonnés que l'on a été obligé d'*ensimer*, c'est-à-dire d'huiler ou lubrifier afin de faciliter les opérations mécaniques de la filature sans altérer ou déchirer les fibres. L'argile smectique est encore connue sous divers noms : *Pierre à détacher*, *terre à foulon*, *savon du soldat*, etc.

La *terre glaise* est de l'argile très impure avec laquelle on confectionne des briques, tuiles, pots à fleur, etc.

La *terre réfractaire*, qui sert à fabriquer des briques ou des creusets capables de résister sans fondre à une très haute température, est constituée presque uniquement par les composants de l'argile pure, savoir la silice et l'alumine, avec un excès de l'une ou de l'autre de ces deux substances, mais sans proportion sensible d'impuretés, sauf une fort petite quantité d'oxyde de fer et des traces seulement d'autres oxydes étrangers.

Les *schistes* sont des argiles de contexture feuilletée dont une variété assez dure est l'*ardoise* qu'on utilise pour la couverture



des maisons, la confection des revêtements imperméables, de tables, cuves, tableaux, etc. De nombreuses localités possèdent des gisements d'ardoise — ou *ardoisières*; les plus belles sont dans le Maine-et-Loire, à Trélazé, où elles atteignent des dimensions et des profondeurs considérables et sont connues sous le nom de *perrières*.

L'exploitation se fait aussi par carrières souterraines. Les blocs, une fois remontés, sont divisés en morceaux de grandeur convenable, puis un ouvrier appelé *fendeur* débite ceux-ci en plaques minces à l'aide d'un ciseau plat; il utilise ainsi la propriété qu'a l'ardoise de se séparer en lames parallèles d'une manière analogue au clivage de certains minéraux.

Le *sable* est formé par une infinité de petits grains isolés les uns des autres et dont la nature minéralogique peut varier beaucoup; les sables *siliceux*, qui sont les plus répandus, sont formés par des grains de *silice*, les sables *micacés* par de fins débris de mica, etc. Généralement les sables siliceux sont plus ou moins fortement colorés en jaune ou en brun par des oxydes métalliques et mélangés physiquement avec du limon ou de l'argile; aussi, les sables les plus estimés sont-ils les *sables de rivière* que le courant de l'eau a abondamment lavés et débarrassés des corps argileux; mais on exploite aussi des carrières de sable (ou sablonnières, sablières).

Certains sables siliceux, comme ceux de Fontainebleau, etc. doivent leur grande blancheur à leur pureté: ils sont employés pour la fabrication du verre et de la porcelaine.

Les sables s'extraient soit manuellement à l'aide de la pioche et de la pelle, soit, dans les installations plus importantes, par le moyen de machines dénommées *excavateurs* lorsqu'elles fonctionnent sur le bord de la tranchée (à sec ou dans l'eau), ou *dragues* lorsqu'elles travaillent au sein même et au milieu de l'eau; tandis que ces dernières reposent sur un bateau, les excavateurs sont fixés sur un chariot pouvant rouler sur des rails (fig. 7). La drague à succion représentée figure 8 aspire le sable et l'eau jusqu'à plus de 20 mètres de profondeur par des tuyaux appelés *élinde*s, refoule le sable au centre du navire et rejette l'eau latéralement.

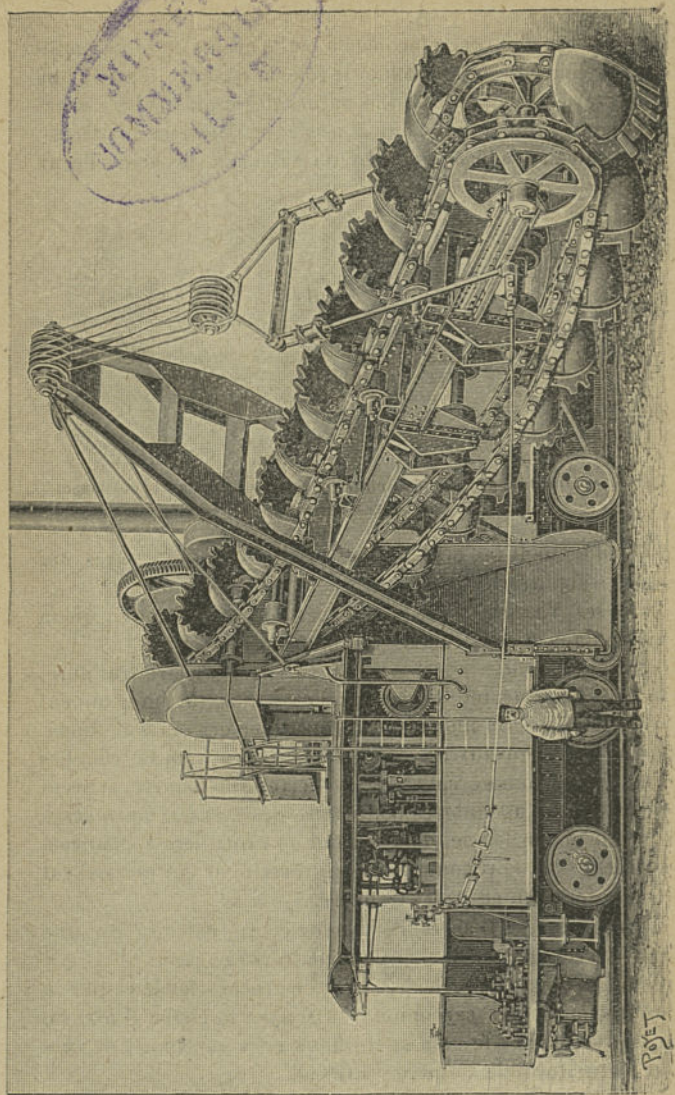


Fig. 7. — Excavateur ; vue d'ensemble.



Le *grès* est une roche formée de petits grains de sable agglutinés par une pâte liante jouant le rôle de ciment ; il existe une grande variété de grès selon la nature des grains (silice, mica) et celle du ciment qui peut consister en diverses matières : argile, calcaire, silice *amorphe* (ou pâteuse) ; les grès siliceux

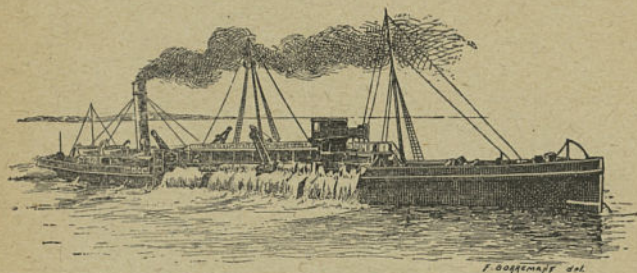


Fig. 8. — Drague à suction le *Léviathan*, capable d'extraire 12.000 tonnes de sable à l'heure.

sont évidemment les plus durs et servent à faire des pavés, des meules à aiguïser les outils, etc.

Dans les Vosges, il existe un grès rouge très connu qu'on emploie dans la construction des maisons.

La *Pierre meulière* est une roche silico-calcaire très dure, colorée, imperméable, caverneuse et par suite éminemment propre à adhérer au mortier et à constituer des murs de fondations et tous travaux en terrains humides, égouts, etc. Les belles sortes, comme celles de la Ferté-sous-Jouarre, peuvent être taillées et assemblées pour faire des *meules* destinées à réduire le blé en farine, d'où le nom de « meulière » donnée à cette roche dont la renommée est universelle et qui est souvent exportée fort loin en pays étrangers.

**Calcaires.** — D'après l'étymologie, un calcaire est une pierre qui contient de la chaux (du latin *calx*, chaux) :

Chimiquement, les calcaires sont des roches formées par la combinaison du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) avec la chaux ( $\text{CaO}$ ) ou oxyde de calcium : le nom scientifique est « carbonate de calcium » et la formule chimique ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).



Lorsqu'on vient à chauffer fortement un calcaire, il laisse dégager son gaz carbonique, et laisse la chaux comme résidu. Si l'on traite un calcaire par un acide, le gaz carbonique se dégage encore, ce qui simule une effervescence ou dégagement de bulles. Le calcaire forme des montagnes entières et des couches très puissantes de la croûte terrestre, en présentant de très nombreuses variétés dont un grand nombre sont utilisées pour la construction des maisons.

Le *calcaire grossier*, encore appelé *Pierre de taille*, parce que, se présentant naturellement en couches épaisses, homogènes et régulières, il peut être taillé à la scie, avec ou sans dents, et recevoir les formes, ou *appareils*, que réclame l'architecture. Les variétés dures, à grain fin, se débitent à la scie sans dents avec interposition d'eau et de sable et servent à la décoration sculpturale des édifices, la confection de marches d'escalier, de balustrades, etc.

Les calcaires de l'Échaillon près Grenoble, de Corgoloin et de Comblanchien près de Beaune, le *banc royal* de Conflans, sont de magnifiques pierres de construction de dimensions parfois énormes. Les calcaires de l'Yonne, ceux de Château-Landon et de Souppes (Seine-et-Marne) sont également très recherchés. La « pierre de Caen » est fort anciennement connue pour son grain très fin, la facilité de son travail, sa propriété de durcir à l'air : elle a même été exportée maintes fois et a servi à édifier des monuments à l'étranger, comme la « Tour de Londres », etc. Les ouvriers carriers emploient comme outils principaux le pic et le levier ; mais, dans les grandes exploitations, on tend à remplacer le travail manuel par celui beaucoup plus rapide de machines appelées *trancheuses*, mues par la vapeur, l'air comprimé ou électriquement.

Le *marbre*, la *Pierre lithographique* sont durs, compacts et acquièrent par le polissage une surface unie et brillante. Le marbre est un carbonate de calcium *crystallin*, c'est-à-dire formé par la juxtaposition d'une infinité de petits cristaux rhomboédriques (sortes de cubes déformés suivant une diagonale), absolument comme un morceau de sucre ordinaire est constitué par l'agglomération de très petits cristaux analogues à ceux

plus gros et isolés du sucre candi ; aussi existe-t-il une variété de marbre blanc dit *saccharoïde* à cause de l'aspect de sa cassure, rappelant celle du sucre. Dans l'antiquité les marbres blancs de Paros étaient employés pour l'art de la statuaire ; actuellement, on exploite, dans le même but, ceux de Carrare (Italie) ; la France possède aussi des gisements de marbre blanc : citons ceux de Saint-Béat (Haute-Garonne). Il existe en outre, comme chacun sait, de très nombreuses variétés de marbres diversement colorés et veinés : *griotte* ou œil-de-perdrix,

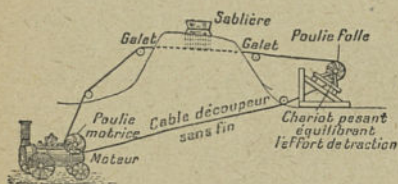


Fig. 9. — Représentation schématique d'une exploitation de marbre au moyen du « fil hélicoïdal ».

campan, sarrancolin, brocatelle, le marbre onyx d'Algérie orné de jolies zones concentriques et qu'il ne faut pas confondre avec l'onyx quartzeux.

On extrait aujourd'hui le marbre, dans les grandes exploitations, par un procédé bien curieux, très simple et très expéditif, qui consiste à découper la masse rocheuse par usure au moyen d'un câble d'acier bien tendu se déplaçant suivant son axe et entraînant des grains de sable humectés d'eau (fig. 9). Pour que le sable soit retenu après le câble, celui-ci est formé de trois fils métalliques tordus en hélice, d'où le nom de *fil hélicoïdal* donné à ce procédé. La figure 10 représente l'exploitation des carrières de Saint-Béat (Haute-Garonne) : on y distingue nettement les plans de sciage déterminés par le fil, lequel est mis en mouvement par un moteur au moyen d'un système de poulies combinées convenablement. Les blocs de marbre brut sont ensuite débités en plaques d'épaisseur déterminée au moyen d'une série de lames parallèles agissant simultanément en très grand nombre et appelée *chassis à scier*. Ou bien, en vue d'obtenir des vases, sculptures ou objets divers, ces blocs sont travaillés au *ciseau*, puis au *tour* et enfin *polis*. Ce polissage s'effectue en plusieurs opérations successives : on com-



mence d'abord par l'*égrisage*, qui consiste à frotter l'objet brut avec du grès ou du sable mouillé ; on continue avec de l'émeri fin et on termine par le *lustrage* au moyen de la *potée d'étain* qui donne le brillant définitif.

Les *marnes* sont des calcaires argileux employés pour l'amendement des terres, la fabrication du ciment et de la chaux

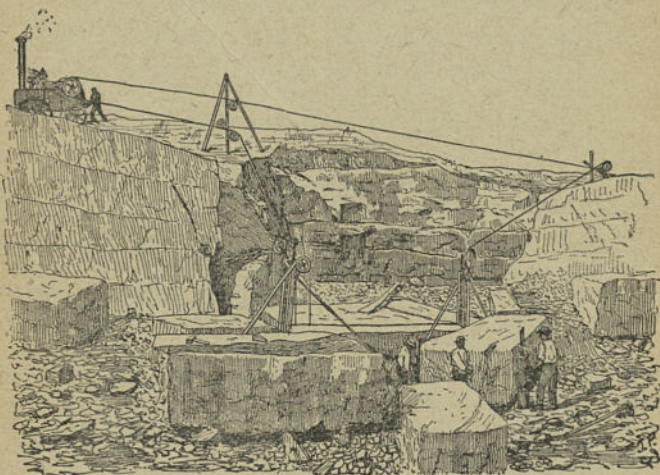


Fig. 10. — Carrière de marbre de Saint-Béat.

hydraulique. La *craie* est aussi un calcaire, mais tendre et friable.

Le *gypse* ou pierre à plâtre est du sulfate de calcium hydraté. Étant soumis à l'action d'une calcination modérée, vers 140 degrés, il perd beaucoup de vapeur d'eau et laisse comme résidu le *plâtre cuit*, sulfate de calcium anhydre (formule chimique  $\text{SO}^4\text{Ca}$ ). Il existe, aux environs de Paris, des gisements, très abondants et universellement connus, de gypse ; cette matière, une fois transformée en plâtre, est souvent exportée à l'étranger. Nous donnerons plus loin quelques indications sur la fabrication du plâtre, de la chaux et des ciments (voir : *Industries préparatoires*).



## II. — MINES ET MINIÈRES

**Sel ordinaire.** — Le *sel* commun, ou chlorure de sodium (NaCl), existe soit à l'état de dissolution dans les eaux de la mer ou de certains lacs (Lac Salé, États-Unis), soit à l'état solide dans le sol, formant alors une véritable roche à laquelle on donne le nom de *sel gemme*; ce fait peut surprendre, étant donnée la solubilité de cette substance dans l'eau, mais il s'explique quand on considère que les gisements de sel sont intercalés entre des couches imperméables d'argile; une remarque analogue peut d'ailleurs être faite au sujet du gypse protégé par les marnes et les glaises.

Le sel gemme est souvent coloré en rouge par l'oxyde de fer ou en brun par l'argile; il peut être exploité à ciel ouvert comme à Cardona en Espagne, ou souterrainement; dans ce cas, on a imaginé et appliqué deux genres d'extraction:

1° Un procédé simple consiste à capter l'eau des sources salées qui proviennent des profondeurs du gisement, puis à faire évaporer ce liquide jusqu'à cristallisation du sel.

2° Dans une autre méthode on pratique un sondage s'enfonçant jusqu'au centre du gîte et on y introduit un tube de diamètre un peu plus faible; dans l'intervalle annulaire laissé entre le tube et les parois du trou de sonde, on envoie un courant d'eau pure qui, arrivant au contact du sel gemme, se sature de cette substance; par le jeu d'une pompe la solution remonte par le tube central puis on concentre par chauffage et évaporation dans de vastes récipients métalliques peu profonds appelés *poêles* où le sel se dépose. Si les eaux salifères sont très diluées, comme en Wurtemberg, on leur fait subir préalablement une première concentration par écoulement sur des *bâti-ments de graduation* consistant en des sortes de murs très élevés formés de fascines enchevêtrées et offrant une grande surface d'évaporation; puis on concentre dans des bassines; il se dépose d'abord le *schlot* (sulfate double de calcium et de sodium) qu'on élimine, puis le *sel fin*.

3<sup>o</sup> A Wieliczka (Galicie), à Stassfurt (Prusse), etc., où le sel gemme se présente à de grandes profondeurs par amas d'une énorme puissance, on procède par forage de galeries souterraines, comme dans les mines de houille, et on abat la roche saline au pic généralement, plus rarement au moyen d'explosifs afin de ne pas produire d'ébranlements qui pourraient compromettre la solidité des galeries; ces dernières se développent à Wieliczka sur une longueur considérable et les vastes cavités laissées vides ne s'effondrent pas grâce à la précaution que l'on a prise de laisser de distance en distance des piliers de sel gemme qui soutiennent la voûte; on évite ainsi les frais d'un remblayage onéreux.

Dans certaines mines de sel on observe parfois, comme dans les mines de houille, un dégagement de grisou (gaz méthane  $\text{CH}_4$ ) à la limite de la roche saline et de l'argile encaissante; vu l'imperméabilité et l'étanchéité de ces substances, le gaz ne s'échappe que par certains orifices déterminés; on peut alors le capter, le canaliser et l'utiliser comme moyen d'éclairage dans des brûleurs spéciaux. C'est ainsi que, dans les salines de Bex, en Suisse, un dégagement de grisou a servi à éclairer la mine pendant plus de dix années.

Quant aux eaux de la mer, elles contiennent en moyenne par mètre cube 25 à 30 kilogrammes de sel (selon la situation géographique), 3 à 7 kilogrammes de chlorure de magnésium, un peu de chlorure de potassium, du sulfate et du bicarbonate de calcium, etc. Pour en retirer le sel comestible, il ne suffit pas d'évaporer d'un seul coup cette eau jusqu'à complète cristallisation, car alors les sels étrangers se déposeraient en même temps et on n'aurait qu'un produit trop impur pour être utilisable. Il faut de plus que cette extraction ne soit pas trop onéreuse afin de laisser une certaine marge de bénéfice. Or, sur les mille litres que contient un mètre cube il faut arriver à en enlever approximativement 950 pour amener le sel à se déposer; la concentration par *chauffage direct* d'une aussi grande masse d'eau exigerait une trop grande dépense en combustible, aussi évapore-t-on sous l'action combinée de la chaleur solaire et du vent, pendant la belle saison, de mai à sep-



tembre sur les bords de la Méditerranée, de mai à juillet et août sur les bords de l'Océan.

L'eau de mer est amenée dans de vastes bassins peu profonds appelés *marais salants* composés d'un grand nombre de compartiments séparés les uns des autres par des levées de terre argileuse et connectés au moyen de vannes mobiles ; le liquide

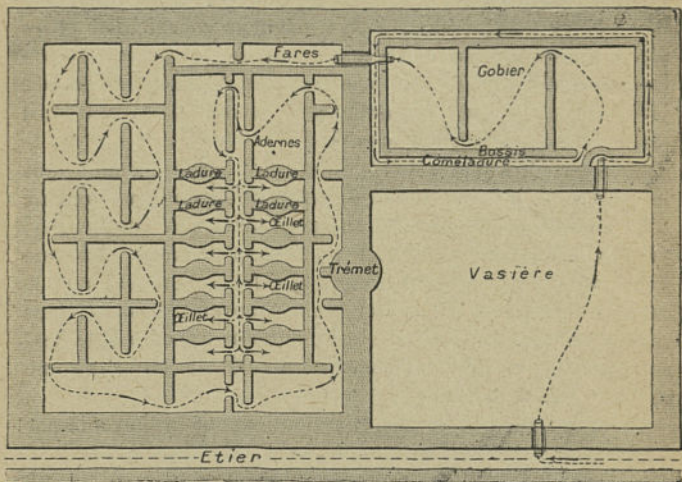


Fig. 11. — Plan schématique de marais salants dans le pays de Guérande.

y circule de proche en proche et méthodiquement de façon à se concentrer progressivement et à n'abandonner son sel dans le dernier bassin, qu'après le dépôt préalable de toutes les impuretés dans les compartiments précédents.

Dans les régions méditerranéennes où la marée est pour ainsi dire inexistante, l'eau de mer est amenée dans les marais salants et y progresse au moyen d'un système de tuyaux et de pompes. Au contraire, sur les côtes de l'Atlantique où le flux et reflux se font vivement sentir, point n'est besoin de pompes, on utilise au moment voulu la dénivellation naturelle du niveau de l'eau. Dans ce but, le premier bassin dit *vasière*, ainsi



appelé parce qu'il s'y dépose la vase et autres matières terreuses jusqu'à clarification, est établi au niveau de la haute mer; les autres compartiments se succèdent à des niveaux de plus en plus bas jusqu'au dernier (*tables salantes* du Midi, *aires* de l'Ouest) qui se trouve seulement à la hauteur de la basse mer

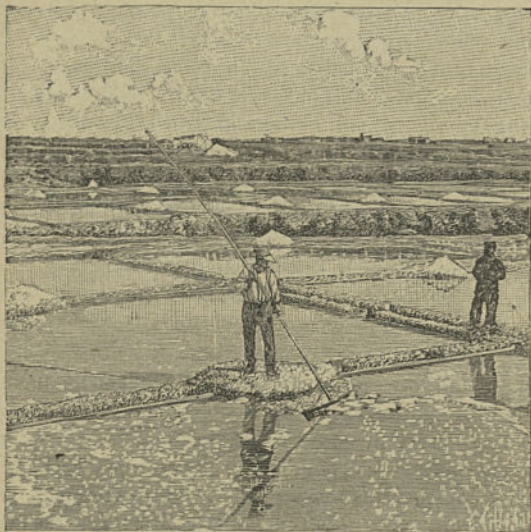


Fig. 12. — Ouvrier saunier attirant à lui le sel qui a cristallisé dans l'*œillet* et l'amenant sur la *ladure*.

et d'où les eaux résiduelles ou *eaux mères* peuvent s'écouler au moment du reflux. Chaque sel se sépare du liquide au moment où le point de saturation correspondant est atteint; ainsi, après clarification dans la vasière, l'eau laisse déposer successivement dans les bassins suivants, le carbonate de calcium<sup>1</sup> mélangé d'un peu d'oxyde de fer, puis le sulfate de calcium

1. Qui n'était dissous que grâce à la présence d'un excès de gaz carbonique lequel, se dégageant, laisse le calcaire à l'état insoluble.

peu soluble et c'est seulement dans les derniers compartiments (*œillets*), où la couche d'eau qui n'est plus que de quelques centimètres marque 26° à 30° Baumé, que cristallise le sel ainsi qu'une certaine quantité de chlorure de magnésium (Voir fig. 11 et 12).

On enlève le sel au moyen de pelles en bois et on le réunit en grosses meules ou *mulons* qu'on abandonne quelque temps à l'action de l'air, puis qu'on recouvre d'une couche d'argile jusqu'à la vente ; par l'effet de l'humidité atmosphérique, les sels magnésiens très solubles et déliquescents sont dissous et entraînés dans le sol. On obtient ainsi le *sel brut* ou *sel gris* utilisé tel quel pour les salaisons et l'industrie chimique : fabrication de l'acide chlorhydrique, du sulfate de sodium, de la soude et du chlore, vernissage des grès ; ou bien on le raffine par redissolution dans l'eau et cristallisation en vue d'obtenir le *sel blanc* ou *sel fin* pour l'alimentation.

**Nitrate de sodium (ou nitrate de soude).** — Ce sel, connu encore sous le nom de *caliche*, existe en quantités considérables dans le désert d'Atacama, au nord du Chili, où il ne pleut pour ainsi dire jamais ; il forme à peu de profondeur une couche de plusieurs mètres d'épaisseur et, étant assez compact, est désagrégé au moyen d'explosifs puis est dissous dans le moins d'eau chaude possible ; cette solution saturée laisse déposer par refroidissement le nitrate purifié contenant encore environ 5 pour 100 d'impuretés. Cette substance est exportée par quantités énormes en Europe <sup>1</sup> où elle sert principalement en agriculture comme engrais azoté ; on l'emploie aussi en chimie pour la fabrication de l'acide azotique, de sorte que l'on peut dire qu'actuellement le salpêtre chilien est presque l'unique source industrielle d'où on fait dériver tous les composés oxygénés de l'azote si nécessaires à l'activité agricole, industrielle et scientifique <sup>2</sup>. Cependant il y a lieu de signaler ici

1. Exportation en 1909 ; deux millions de tonnes d'une valeur de 500 millions de francs.

2. Les engrais azotés sont vendus à l'unité d'azote, c'est-à-dire selon le poids d'azote qu'ils contiennent pour cent : par exemple 1 fr. 50 le kitogr. d'azote (mars 1911).



le développement d'une fabrication nouvelle, celle des nitrates synthétiques (voir chap. IV, Industries chimiques).

**Carbonate de soude.** — On connaît depuis longtemps le lac Natron, en Basse-Égypte, qui laisse déposer un carbonate complexe désigné précisément sous le nom de *Natron*. L'étendue de ces dépôts est bien surpassée par ce qui a été découvert récemment dans l'Est Africain, entre le lac Victoria et l'Océan Indien ; citons celui de Magadi, solidifié, qui a l'aspect d'un immense lac gelé, et, plus au sud, le lac appelé aussi Natron, qui est grand comme le Léman. Toute cette région forme un amas de soude colossal.

**Sels potassiques** — Le chlorure de potassium se rencontre soit pur (*sylvine*), soit combiné au chlorure de magnésium sous le nom de *carnallite*, à Stassfurt (Allemagne du Nord), avec d'autres sels : sel gemme, gypse, etc. Cet amas souterrain est immense, pratiquement inépuisable ; aussi, pour éviter la dépréciation des prix de vente, l'Etat prussien, propriétaire des mines, a-t-il institué un cartel, le *kalisyndikat*, qui régleme l'extraction et la vente.

C'est avec les produits retirés de ces mines que l'on prépare aujourd'hui les divers sels de potassium utilisés en chimie ou comme engrais (betterave, etc.). Stassfurt, « pivot de l'industrie chimique allemande », exporte dans le monde entier.

On exploite depuis peu en Alsace, au N.-O. de Mulhouse, un gisement de même nature, évalué à deux milliards de tonnes, où les intérêts franco-alsaciens entrent pour 45 pour 100. L'extraction et la vente étaient réglementées par le *kalisyndikat*.

Enfin, on a encore reconnu l'existence en Espagne (région de Cardona) d'un gisement analogue, non encore exploité, que le gouvernement allemand n'a pas pu parvenir à acheter.

**Phosphate de calcium** (vulgo : phosphate de chaux). — Cette substance existe dans les tissus animaux nerveux et osseux principalement, dans le grain des céréales, etc. On la trouve dans le sol, soit sous forme cristallisée, alors appelée *apatite*, dont certains cristaux pèsent parfois plusieurs centaines de kilogrammes, soit en concrétions ou *nodules*, sous le nom de *phosphorite* (voir fig. 13). Le phosphate de cal-



cium  $[(\text{PO}_4)^2 \text{Ca}^2]$  est un engrais indispensable pour la culture des céréales, du blé en particulier ; divers départements français, notamment la Somme, en renferment d'importants gisements exploités ; la Russie, la Floride en Amérique, en possèdent d'énormes quantités ; les gisements algériens et tunisiens

sont particulièrement riches et étendus et, au point de vue de la facilité commerciale, jouissent de l'avantage d'être à proximité de la mer ; aussi a-t-on relié par un chemin de fer spécial les mines tunisiennes de Gafsa au port d'embarquement de Sfax<sup>1</sup>.



Fig. 13. — Nodule de phosphate des Ardennes.

(Boule : Cours d'Histoire naturelle, 3<sup>e</sup> année.)

Pour rendre le phosphate naturel mieux assimilable par les racines des plantes, on le traite, dans des usines spéciales, par une quantité convenable et calculée d'acide sulfurique ; on obtient ainsi une nouvelle matière connue sous le nom de *superphosphate* et qui est utilisée directement comme engrais ; sa valeur commerciale est en rapport avec

la quantité d'acide phosphorique qu'elle contient.

Signalons, en passant, l'emploi de plus en plus répandu, comme engrais, des scories de déphosphoration de l'acier (procédé Thomas).

Le *guano* est un engrais phosphaté formé de déchets organiques laissés par les oiseaux de mer sur certaines côtes ou îles de l'Amérique du Sud, notamment<sup>2</sup>. Le guano, traité par l'acide phosphorique en quantité calculée, est vendu sous le nom de *phosphoguanos*.

**Roches combustibles.** — Il existe toute une série de

1. Exportations en 1909 : un million de tonnes représentant 30 millions de francs.

2. Exportations du Pérou : dix millions de francs.

roches dont le *carbone* (C), ou charbon, forme la partie essentielle et qui, par cela même, sont plus ou moins combustibles : *anthracite*, *houille*, *lignite*, *tourbe*, *bitumes*, *pétroles*.

Rappelons en même temps l'existence de roches contenant soit du soufre libre, comme le *soufre natif*, soit du soufre combiné, comme les *pyrites*. Ces minéraux, quoique susceptibles de brûler à l'air, ne sont cependant pas employés comme combustibles usuels mais servent à alimenter diverses industries chimiques ou métallurgiques.

Parmi les combustibles proprement dits, la *houille* ou *charbon de terre* surtout est très importante et tient la première place au point de vue industriel ; on distingue les variétés *grasses*, *maigres* et intermédiaires selon la propriété qu'elles possèdent plus ou moins de s'agglomérer en brûlant et de donner une flamme longue ou courte ; ainsi les houilles grasses dites *marécales*, sous l'action de la chaleur du foyer, éprouvent une sorte de ramollissement ou de fusion semi-pâteuse qui a pour effet de souder les morceaux les uns aux autres ; elles conviennent particulièrement bien aux travaux de *forge*. D'autres houilles grasses sont plus dures, moins fusibles et servent spécialement à la fabrication du coke dit *métallurgique*. Les houilles grasses à longue flamme, riches par conséquent en produits gazeux et volatils, sont utilisées pour la fabrication du *gaz d'éclairage* et donnent un résidu de coke ordinaire et du charbon dit « des cornues ». Enfin les houilles *maigres*, ou *sèches*, généralement à flamme courte ou de peu de durée, sont brûlées sur les grilles des foyers industriels ou domestiques. Les charbons de Charleroi et de Cardiff brûlent sans donner sensiblement de fumée ; ceux de Mons et de Newcastle, au contraire, en produisent plus ou moins.

L'*anthracite* s'allume plus difficilement que la houille mais produit plus de chaleur. Le *lignite* et la *tourbe* sont des combustibles bon marché mais de moindre valeur calorifique.

Les principaux pays producteurs de houille sont les Etats-Unis, l'Angleterre, l'Allemagne, la France, la Belgique, l'Au-

triche, la Russie, le Japon <sup>1</sup>, etc. L'Allemagne et l'Autriche-Hongrie produisent également beaucoup de lignite <sup>2</sup>.

Les pétroles sont des mélanges de carbures d'hydrogène liquides qu'on trouve à des profondeurs plus ou moins considérables, notamment aux États-Unis et en Russie (région de Bakou, sur les rives de la mer Caspienne), en Galicie, Roumanie, à Java, etc.

Le *bitume* est un hydrocarbure pâteux qui existe en abondance dans l'île de la Trinité, en Judée, en France, etc. L'*asphalte* est un calcaire bitumineux, qui se rencontre à Seyssel (département de l'Ain), etc. Dans les environs d'Autun, en France, ainsi qu'en Écosse et en diverses parties de l'Allemagne, on trouve des *schistes bitumineux* dont on extrait par distillation outre divers autres produits, une huile analogue au pétrole et dite *huile de schiste*.

L'antracite, la houille, le lignite, la tourbe ont une origine végétale, ancienne pour les trois premiers combustibles, récente et actuelle pour le dernier. Ainsi la tourbe se forme constamment sous nos yeux, dans certains pays, par suite de la décomposition lente subie par divers végétaux à l'abri de l'oxygène de l'air et sous l'influence de microbes spéciaux. Les plantes génératrices de la tourbe sont, dans nos climats européens, les *sphaignes*, ou mousses du genre *sphagnum*, l'*hypnum* (département de la Somme) et même parfois des *Carex*. Ces végétaux exigent un climat tempéré et une eau limpide non calcaire, mais cependant l'imperméabilité d'un fond d'argile ne leur convient pas; ces conditions particulières assez étroites expliquent pourquoi on ne trouve la tourbe que dans certaines

1. Valeur de la houille extraite (Production mondiale 1100 millions de tonnes environ).

Etats-Unis et Angleterre	:	3 milliards de francs environ chacune.			
Allemagne	:	2	—	—	—
France	:	600 millions	—	—	—
Belgique	:	400	—	—	—
Autriche, Russie, Japon	:	150	—	—	— chacune, etc.

2. Allemagne : 300 millions de francs ; Autriche-Hongrie : 200 millions ; France : 8 à 10 millions.



régions, plutôt dans le nord de l'Europe, comme en Allemagne, en Hollande, en Irlande <sup>1</sup>, en Picardie, etc. La spongiosité des plantes tourbigènes en vertu de laquelle leurs fibres peuvent retenir une grande masse d'eau, explique pourquoi l'on peut trouver des tourbières en des lieux où l'eau ne pourrait séjourner

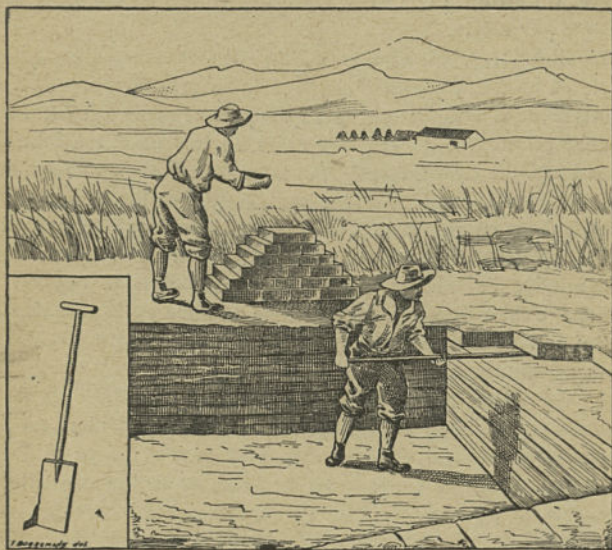


Fig. 14. — Extraction de la tourbe en Irlande au moyen du *louchet*.

d'elle-même, comme sur les pentes de coteaux ou même sur des parties assez élevées telles que les hauteurs des Vosges en divers endroits ; aussi, rien d'étonnant à ce qu'il existe des tourbières de plaines, de côtes ou de vallées. Périodiquement une génération de mousse meurt et sert de support à une nouvelle couche plus jeune qui s'élève au-dessus de son aînée, et ainsi de suite, de sorte qu'une tourbière s'accroît par la partie supérieure et meurt par la base, c'est-à-dire par la partie qui,

1. Les tourbières d'Irlande couvrent 1 300 000 hectares.

imprégnée d'eau, se trouve à l'abri de l'air et éprouve une carbonisation interne progressive ; c'est ce que montre la coupe d'un terrain tourbeux : on trouve successivement de haut en bas, d'abord une couche verdâtre de tourbe mousseuse, puis un lit feuilleté vert sombre et enfin une couche compacte de tourbe noire. On estime qu'une tourbière s'accroît en moyenne de trois mètres par siècle.

L'extraction se fait au moyen d'un instrument appelé *louchet*, sorte de bêche munie latéralement de rebords coupants et permettant de débiter la tourbe en *briquettes* (Voir fig. 14). Si la tourbe est noyée, on emploie alors un instrument à manche plus long, dit *grand louchet*, et même, au besoin, une drague. La tourbe est employée non seulement comme combustible mais encore comme litière et aussi comme fourrage après lui avoir incorporé 75 à 80 pour 100 de mélasse de betterave dont elle corrige l'alcalinité. Enfin on cherche aussi à *cokifier* la tourbe, c'est-à-dire à la transformer en coke en la chauffant à l'abri de l'air dans des cornues. On recueille les gaz dégagés et les sels ammoniacaux qu'ils contiennent.

La formation de la houille résulte aussi avec évidence de la décomposition lente de végétaux, mais ceux-ci vivaient en des temps très reculés, aux époques géologiques qui se chiffrent peut-être par millions d'années et même de siècles avant notre ère. Il n'est pas rare de trouver dans les houillères des débris végétaux fort bien conservés, ainsi, sous ce rapport, abstraction faite de la nature des plantes productrices, la formation de la houille présente une analogie avec celle de la tourbe mais cependant elle s'en distingue par ce fait fondamental que, tandis que cette dernière se produit sur place, là où on la trouve, il est universellement admis maintenant que les végétaux houillers ont subi un transport ou charriage fluvial, avant d'être ensevelis sous l'eau des estuaires ou des lagunes où ils éprouvèrent finalement la houillification, c'est-à-dire la transformation carbonisante sous l'influence des bactéries anaérobies<sup>1</sup> et de la chaleur terrestre.

1. Bactérie anaérobie, microbe se développant à l'abri de l'oxygène et de l'air.

L'anhracite a une origine semblable mais plus ancienne encore que la houille. Le lignite, au contraire, se place, sous ce rapport, entre la houille et la tourbe. Il y a un carbone naturel très pur, le *graphite* (utilisé pour faire des crayons et divers

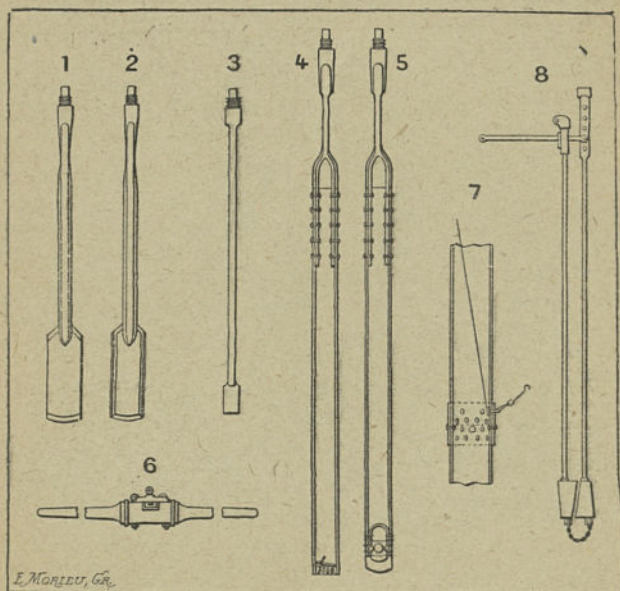


Fig. 15. — Outils de sondage.

1 et 2, trépan ; 3, tige ; 4, cuiller à clapet ; 5, soupape à boulet ; 6, levier de manœuvre, ou « tourne à gauche » ; 7, tubage et mise en place des rivets ; 8, rivoir (outil à river).

autres objets) et surtout le *diamant* (carbone cristallisé et transparent) dont l'origine est certainement purement minérale. Les opinions diffèrent au sujet du pétrole. Le bitume serait un pétrole oxydé et comme en voie de résinification.

**Extraction du pétrole.** — Le pétrole (étymologiquement : « huile de pierre ») se recueille en forant un trou de sonde assez profond pour atteindre le gisement ; dans ce but, on



construit, sur l'emplacement choisi, un bâtiment pyramidal en charpente très solide appelé *chevalement* ou *derrick* destiné à supporter les poulies et outils de forage qui seront mis en mouvement par un moteur à vapeur (Voir fig. 15). Au fur et à mesure que le trou de sonde descend, il faut en maintenir les

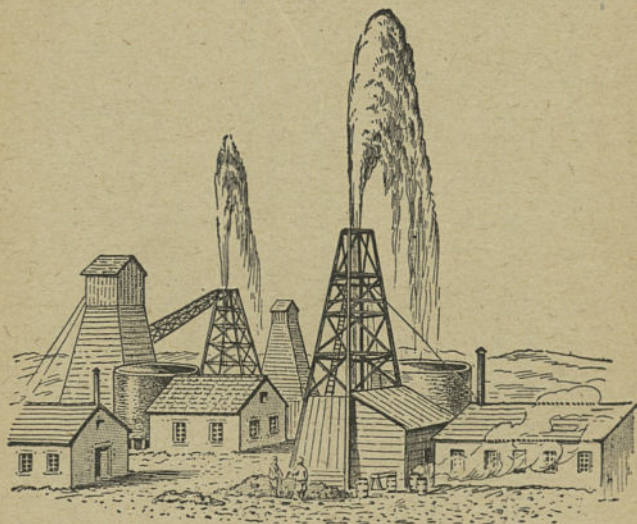


Fig. 16. — Groupe de derricks à Bakou ; extraction du pétrole.

parois par un tube métallique ou un système de tubes s'emboîtant télescopiquement. Le forage et le tubage d'un puits de 400 mètres reviennent à environ 25 000 francs et se pratiquent au moyen de divers outils perforants, tels que le *trépan*, maintenus et actionnés par un système de tringles ou de tiges pouvant s'adapter les unes à la suite des autres ; le sable et les débris de terrain sont remontés au jour au fur et à mesure par un dispositif spécial. Une fois la profondeur voulue atteinte, il n'est pas rare de voir se dégager un gaz combustible sous pression, ou jaillir à une grande hauteur, soit du pétrole, soit de l'eau saumâtre plus dense (Voir fig. 16). C'est ainsi qu'à

Bakou, sur la Caspienne, la source Mammouth a jadis débuté par un jet de 70 à 80 mètres de hauteur, véritable torrent vertical débitant jusqu'à 500 tonnes d'huile par heure, c'est-à-dire toute une fortune ! On conçoit donc qu'il faille donner aux chevalements une grande solidité pour résister à une si forte poussée.

Ces faits ont conduit à supposer que le pétrole est contenu dans de grandes poches ou cavités contenant, superposés par ordre de densités, l'eau salée à la partie inférieure, puis le pétrole et enfin les gaz sous pression (voir fig. 17). Selon que le tubage atteindra l'une ou l'autre de ces zones, on obtiendra un jet de matière différente.

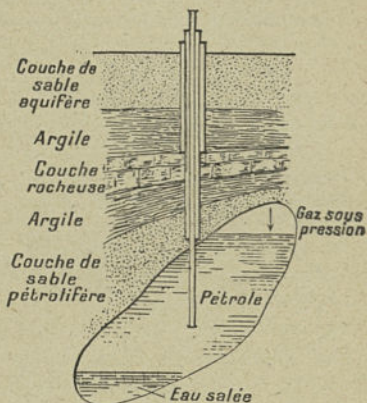


Fig. 17. — Coupe d'un puits et d'une poche à pétrole.

Lorsque le puits ne jaillit plus, c'est-à-dire au bout d'une dizaine de jours en moyenne, on extrait le pétrole au moyen de pompes et on l'envoie dans de vastes réservoirs où, par le repos, se séparent l'eau et les matières terreuses.

On dirige ensuite le liquide vers les ports d'exportation ou les usines de raffinage. C'est qu'en effet le pétrole brut ne peut pas être employé tel quel : il est trop visqueux et en outre dangereux par suite de la grande quantité d'hydrocarbures volatils qu'il renferme dissous ; d'où la nécessité de le *raffiner*, c'est-à-dire de le soumettre à une série de distillations successives et fractionnées qui auront pour effet d'en séparer d'abord les produits les plus gazéifiables (*gazoline*, *éther* et *benzine* de pétrole) puis l'*essence minérale* utilisable dans les lampes à éponge, ensuite le *pétrole lampant* ou *kérosine*, enfin les huiles à paraffine, huiles de graissage, huiles lourdes, coke de

pétrole, etc. Les huiles américaines donnent surtout de la paraffine; les huiles russes, au contraire, en contiennent fort peu mais sont éminemment propres à fournir une huile de graissage très appréciée comme lubrifiant pour moteurs. En outre, à Bakou, le bois et le charbon étant très rares, on utilise la combustion des résidus (50 pour cent en moyenne) pour le chauffage des chaudières de distillation.

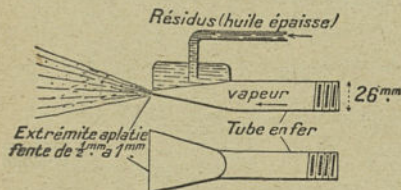


Fig. 18. — Brûleur à résidus de pétrole.

température très élevée, sans fumée et facilement réglable; de plus, ce combustible n'exige qu'un faible emplacement pour le foyer et l'approvisionnement (voir fig. 18). Ajoutons que, dans toute la Russie, ce mode de chauffage est généralisé et s'applique notamment aux locomotives et aux bateaux.

En Amérique les principales régions pétrolifères sont la Pensylvanie, l'Ohio, la Virginie occidentale, etc., c'est-à-dire toute la région avoisinant les monts Apalaches ou Alleghany<sup>1</sup>; les puits d'extraction étant alors situés à de grandes distances des raffineries, lesquelles sont établies dans les ports de l'Atlantique, le transport du pétrole brut s'effectue au moyen de canalisations en fer dites *pipes-lines* ayant chacune de 100 à 500 kilomètres de longueur et permettant de réaliser une économie de 50 pour cent sur le prix demandé par les chemins de fer. Une compagnie puissante, la Standard Oil Co<sup>2</sup>, sorte de trust des pétroles, possède la presque totalité des 13 000 kilomètres de pipes-lines, détient le monopole de ce commerce et établit des prix qui servent presque exclusivement de base au marché du pétrole.

A Bakou, très voisin des lieux d'extraction, les canalisations n'ont

1. Signalons encore la Louisiane, le Texas et aussi la Californie où il existe même des puits sous-marins qu'on exploite au moyen de trous de sonde dont le tubage dépasse le niveau de la haute mer.

2. Dissoute en novembre 1911.



qu'un bien plus faible parcours. La plus grande partie du pétrole russe est raffinée à Bakou même et expédiée ensuite soit par bateaux-citernes sur la Caspienne et le Volga, soit par wagons-citernes vers le port de Batoum, sur la mer Noire.

Le pétrole et ses dérivés jouent un rôle de plus en plus important surtout depuis la diffusion de l'automobilisme et de la navigation aérienne; aussi la consommation s'accroît-elle rapidement et représente une valeur supérieure à un milliard de francs mais les réserves naturelles vont en s'épuisant, à « vue d'œil » pour ainsi dire et certains gîtes autrefois très productifs ne donnent plus qu'un rendement très faible: on peut évaluer à deux ou trois années en moyenne la durée d'un puits.

Le transport, l'emmagasinement et la vente du pétrole et de ses dérivés sont régis par des règlements d'administration publique. Tout d'abord on distingue deux catégories de liquides: ceux dits de la première catégorie qui émettent des vapeurs inflammables au-dessous de 35°, comme l'éther de pétrole, l'essence minérale, etc., et ceux de la seconde qui ne sont pas dans ce cas, comme le pétrole lampant, etc. D'autre part, on range les établissements incommodes, insalubres ou dangereux en trois classes: les deux premières nécessitent une demande d'autorisation sur papier timbré adressée au préfet du département et donnent lieu à une enquête « de commodo et incommodo »; dans la première classe on range les établissements dont le danger ou l'insalubrité nécessitent l'éloignement des maisons particulières: ceux de troisième classe ne comportent qu'une simple demande d'autorisation. Ceci posé, on range un établissement dans une classe ou dans une autre selon la nature de son travail, la quantité et la nature de matière traitée ou en dépôt:

1 <sup>re</sup> classe.	{ Raffinage du pétrole. Dépôts de 3 000 litres et plus de liquides de la 1 <sup>re</sup> catégorie. Dépôts de 15 000 litres et plus de liquides de la 2 <sup>e</sup> catégorie, etc.
2 <sup>e</sup> classe.	
3 <sup>e</sup> classe.	

La vente au détail comporte une déclaration au maire de la commune ou au sous-préfet de l'arrondissement. Le détaillant est assujéti à diverses obligations et prescriptions concernant le transvasement, la capacité et le montant de l'approvisionnement pour les deux catégories de liquides.

**Extraction de la houille.** — Par suite des nombreuses difficultés que présente l'extraction du charbon de terre, on peut dire qu'une houillère réalise par excellence le type parfait d'une véritable mine. L'exploitation se fait parfois à l'air libre, mais le plus généralement en profondeur par galeries souterraines et sous la surveillance de l'administration de l'État.

Dans chaque cas, des travaux préalables de sondage ont dû être exécutés pour constater avec certitude la présence d'une assise exploitable et rémunératrice.

Les couches de charbon, celles du bassin franco-belge notamment, ont souvent une allure tourmentée ou capricieuse résultant des plissements, failles ou fractures avec rejet, qu'a eu à subir l'écorce terrestre pendant une longue suite de siècles. Dans cette formation franco-belge, les couches de houille sont superposées au nombre de 80 à 150 et intercalées entre des grès et des schistes; il y a des couches qui ont 1 m. 60 d'épaisseur, d'autres seulement 10 centimètres. D'après cette disposition, il a fallu creuser des voies d'accès verticales appelées *puits*, jusqu'au cœur du gisement, puis, de là, ouvrir des galeries horizontales dites à *travers-bancs*. A Anzin (France), où existent 70 couches de charbon, la profondeur moyenne actuelle des chantiers est 315 mètres; à Valenciennes, on descend parfois jusqu'à 620 mètres.

Les bancs de houille de Cardiff, en Angleterre, avoisinent aussi des minerais de fer, circonstance éminemment favorable au point de vue de l'économie du traitement métallurgique.

Le grand et riche bassin allemand de la *Ruhr* en Westphalie est le prolongement du gîte franco-belge, mais les 145 couches de charbon qu'on y a relevées sont disposées bien plus régulièrement et faciles à exploiter. L'Allemagne possédait encore deux autres centres houillers importants : celui de la *Sarre* (1)

1. Attribué à la France en 1919.



et celui de la *Silésie* dont une des couches a jusqu'à 16 mètres d'épaisseur.

En France, outre les mines du Nord, où les dégagements de grisou sont fréquents, il y a lieu de noter encore les formations de Saint-Chamond (Loire), Saint-Etienne, Le Creusot (Saône-et-Loire), Decize dans la Nièvre, avec dix ou douze couches en moyenne, Commentry (Allier) où une grande partie de l'explo-

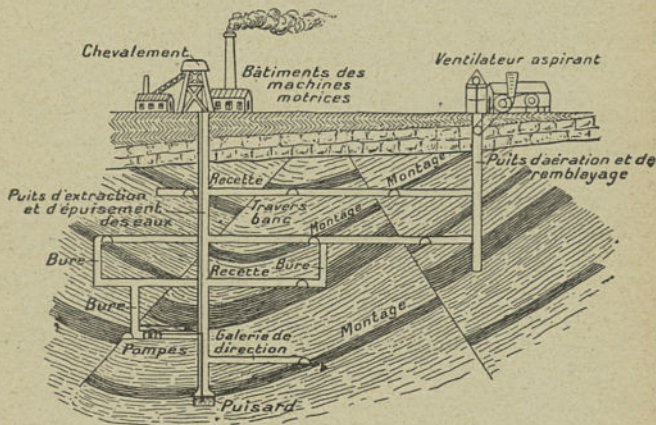


Fig. 19. — Aménagement général d'une mine ; coupe schématique.

tation a lieu à ciel ouvert et qui possède un lit épais de 15 à 20 mètres.

En s'enfonçant ainsi profondément dans le sol, on rencontre de multiples difficultés provenant de la circulation des eaux souterraines, de la viciation de l'air et de l'élévation de température qui est d'environ un degré centigrade par 30 à 33 mètres de profondeur ; il faut donc prévoir nécessairement l'épuisement continu des eaux au moyen de pompes puissantes, ainsi qu'une ventilation énergique pour renouveler l'air respirable, expulser le grisou et autres gaz nuisibles et combattre l'élévation de température.

L'expérience a montré que l'aération n'est suffisamment réalisée que par l'adoption d'un système de deux puits verticaux



ayant environ 5 mètres de diamètre : l'un servant à l'entrée de l'air, à l'extraction du charbon et à la circulation des ouvriers, l'autre destiné au *retour d'air*, c'est-à-dire à son expulsion et aussi à la descente des remblais et boisages et comme sortie de secours au besoin. Les galeries horizontales viennent s'ouvrir dans ces puits généraux, tandis que des puits intérieurs verticaux, ou *bures*, font communiquer les galeries entre elles. L'ensemble présente ainsi la disposition générale indiquée par la figure 49.

Le renouvellement de l'air est assuré par un ventilateur aspirant placé à l'orifice du puits de sortie d'air, lequel doit être absolument lisse et offrir le moins d'obstacles possibles, ceux-ci opposant à la circulation de l'air une résistance presque équivalente à celle de tout le reste des galeries ; aussi adjoint on souvent un troisième puits, surtout si la mine est grisouteuse. A Commentry, le tirage est réalisé par la combustion du charbon.

Un gros souci est l'épuisement des eaux. Certaines mines donnent le spectacle d'une véritable circulation aqueuse souterraine (par exemple ce qu'on appelle le « torrent d'Anzin »). On se trouve parfois en présence de plusieurs milliers de mètres cubes à épuiser par jour ; il faut alors remonter sur une hauteur de plusieurs centaines de mètres cinq ou six fois plus d'eau que de charbon d'où une grosse dépense qui pèse lourdement sur l'exploitation au point de vue financier. On cite une mine américaine d'antracite qui expulse quinze à vingt fois plus d'eau que de combustible ! En vue de se débarrasser de ce liquide, on trace les galeries en pente vers le puits d'extraction et l'on ménage dans celui-ci un puisard qui collecte les eaux ; celles-ci sont ensuite remontées au moyen d'un système de tuyaux et de pompes. Dans certains cas on établit encore des barrages en maçonnerie ou en fer pour boucher les voies d'eau.

Ce qui précède donne une idée générale de la mine dans son ensemble. Il faut maintenant passer sommairement en revue les principaux travaux à effectuer : fonçage des puits, traçage des galeries et chantiers d'abatage, méthodes d'abatage du minerai, transport souterrain et extraction.

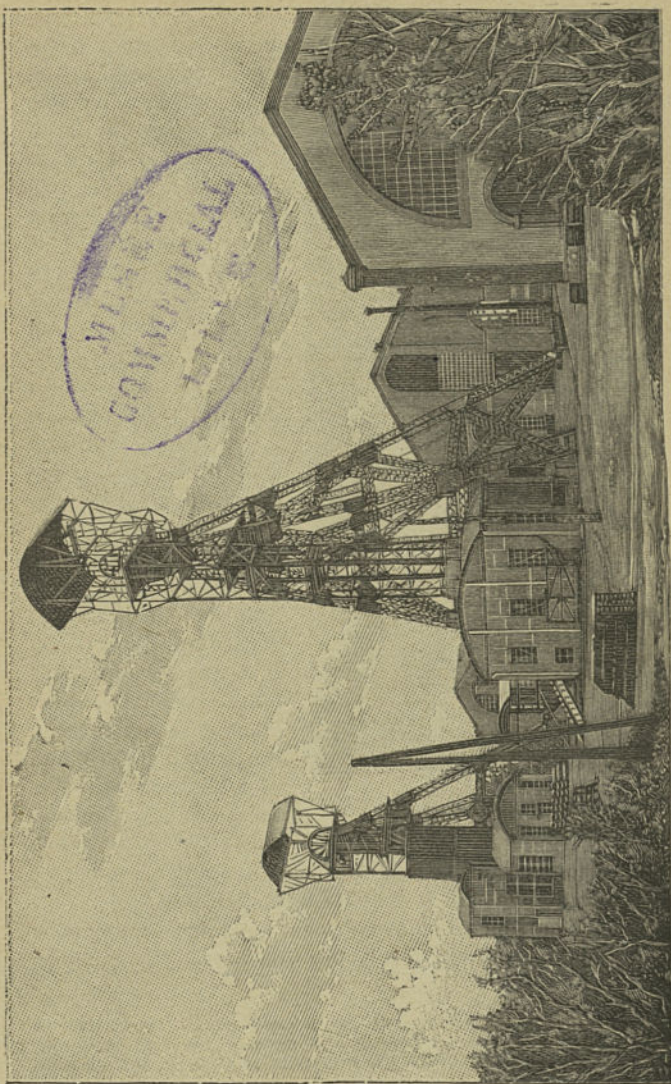


Fig. 20. — Extraction de la houille à Ronchamp ; vue d'ensemble des installations.



A) **Fonçage des puits.** — Des sondages préalables ayant indiqué la présence du charbon à une profondeur déterminée<sup>1</sup> on installe un *chevalement* sur l'emplacement choisi, d'une manière

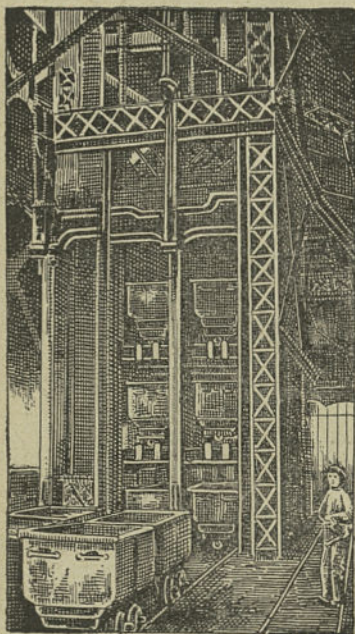


Fig. 21 — Puits d'extraction et cage à trois étages avec ses wagonnets.

analogue à ce qui a été dit à propos du pétrole, mais avec cette différence qu'il s'agit maintenant de forer non un simple trou de sonde, mais un large puits béant de plusieurs mètres de diamètre. Ce travail entraîne des frais considérables pouvant s'élever de 1 000 à 10 000 francs le mètre selon les difficultés que l'on rencontre, notamment en ce qui concerne les nappes aqueuses, fréquentes dans les bassins du nord de la France et de Lorraine ; dans ce cas, au fur et à mesure que le puits s'enfonce, on y fait descendre progressivement un *cuvelage* métallique destiné à soutenir les parois et à les rendre étanches ; on emploie quelquefois d'autres

procédés comme la congélation des terrains aquifères ou encore une infiltration de ciment dans les fentes calcaires.

Les puits qui sont au nombre de deux au moins, comme nous l'avons déjà dit, doivent être établis avec tout le soin possible,

1. Ces sondages s'effectuent soit par la méthode de *percussion* au moyen d'un trépan, soit par un procédé plus moderne consistant en la rotation d'une couronne métallique dans laquelle sont serties des diamants noirs très durs (*sondage au diamant*).



car ce sont les seules artères de communication de la cité souterraine avec le monde extérieur.

Dans l'un de ces puits on installe un système de montée et de descente par un ascenseur guidé par des rails verticaux. La cage est à plusieurs étages et peut recevoir un grand nombre de wagonnets chargés de charbon ; elle est tirée par un câble d'aloès ou d'acier supporté par une grande poulie dite *molette* placée à la partie supérieure du chevalement ; ce câble vient ensuite s'enrouler sur une *bobine* ou *treuil* gigantesque installé dans le voisinage et actionné par une machine puissante (voir fig. 20 et 21).

B) **Traçage des galeries et chantiers, boisage.** — A divers niveaux en profondeur on perce des galeries de manière à partager la mine en plusieurs étages. De ces galeries partent des couloirs formant chantiers d'extraction (voir fig. 49). Les voûtes et les parois de toutes ces voies d'accès doivent être soutenues par des *boisages* ou même parfois par des *blindages*, afin d'éviter les affaissements ou les éboulements qui enseveliraient les mineurs. Ce travail s'effectue au fur et à mesure de l'avancement des galeries ;

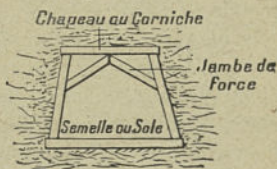


Fig. 22. — Galerie de mine ; cadre d'un boisage.

il consiste essentiellement à placer de distance en distance, tous les mètres environ, et perpendiculairement à l'axe de la galerie, une sorte de cadre, ou ferme, en bois (voir fig. 22). On relie les cadres entre eux par un *garnissage* en bois. Tout cela nécessite l'emploi d'une équipe de charpentiers et de divers corps de métiers, et l'on comprend que les opérations préliminaires de sondage, forage, boisage, installation des moteurs et mécanismes, des bâtiments d'usine et maisons ouvrières, etc., entraînent des frais considérables et la dépense de plusieurs dizaines de millions de francs avant qu'on ait pu extraire et vendre la première tonne de houille.

C) **Abatage du charbon.** — L'abatage est le véritable travail productif de la mine ; il s'effectue dans quantité de petits

chantiers par les ouvriers *piqueurs* au moyen du *pic* (fig. 2) et par le procédé du *havage* qui consiste à recouper le bloc de houille à sa base, suivant les plans naturels de stratification, à le soutenir temporairement au moyen de cales et enfin à l'abattre d'un seul coup en s'aidant de la *pince*, du *levier* ou du *côin*. Ce travail étant très pénible, on a inventé des haveuses *mécaniques* dont les organes essentiels sont une sorte de pic et une scie circulaire horizontale comme on a pu en voir fonctionner à l'Exposition universelle de 1900, à Paris ; mais on conçoit qu'une telle machine, très appréciée aux États-Unis, ne peut guère s'appliquer au travail des houillères françaises où les couches charbonneuses sont trop irrégulières ou trop inclinées.

Un instrument plus intéressant pour nos mines, mais coûteux, serait le *marteau-piqueur*, sorte de pic mù par l'air comprimé et venant buter sur la roche un grand nombre de fois par seconde.

On emploie aussi les *explosifs* pour abattre de gros blocs de charbon. La dynamite est très puissante, mais on la remplace généralement dans les mines grisouteuses par des explosifs dits *de sûreté*, à base de nitrate d'ammonium, qui ont la propriété de ne déflager qu'à une température insuffisante pour enflammer le grisou. La découverte de ces explosifs a marqué un progrès très important dans l'exploitation des mines de houille. La perforation du trou de mine peut s'effectuer, soit à la main au moyen du *fleuret*, soit au moyen d'une *machine perforatrice* mue électriquement ou par l'air comprimé, ce dernier procédé étant seul utilisable si les galeries sont grisouteuses afin d'éviter la production possible d'une étincelle qui amènerait une explosion. L'outil perforant peut agir par percussion, c'est-à-dire par une série de chocs répétés, ou bien par la rotation d'une couronne métallique sertie de diamants noirs.

D) Remblayage et précautions contre le grisou. — La couche de charbon, une fois extraite, laisse un vide qu'il est nécessaire de combler, soit avec des matériaux *stériles* apportés du dehors, soit, en l'absence de ceux-ci, par le procédé dit de *foudroyage* qui consiste à *tracer*, c'est-à-dire à extraire, jusqu'à l'extrémité du gisement, en laissant de place en place des *piles*



pour soutenir le *toit*, ou voûte, et, dans les intervalles, des boisages étançonnés pour assurer la sécurité des travailleurs. Le fond de la galerie une fois atteint, on recule en enlevant la plus grande partie du boisage et on dépilè : le toit de la galerie s'écroute alors au fur et à mesure que l'on abat les piliers.

Le travail dans les mines doit s'effectuer en prenant toutes les précautions possibles contre le grisou ; on y arrive par une ventilation énergique et par l'emploi des lampes dites *de sûreté* dont la flamme est séparée de l'air extérieur par une toile métallique (voir fig. 23). Autrefois, avant l'invention de cette lampe, on se débarrassait du grisou par un procédé héroïque : celui du *pénitent* ou *fireman*, condamné de droit commun qui, au péril de sa vie, rançon de sa liberté, consentait à aller enflammer le terrible mélange au moyen d'une torche fixée à l'extrémité d'une longue perche.

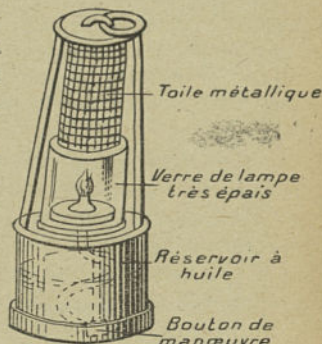


Fig. 23. — Lampe de mineur.

Le grisou se dégage souvent des fissures de la roche avec une grande violence due à la pression de 10, 15 et même 20 atmosphères sous laquelle il est emprisonné. Les mesures ont montré qu'une tonne de houille peut arriver à dégager spontanément jusqu'à 25 et même 50 mètres cubes de gaz ; le mélange de celui-ci avec l'air commence à devenir explosif à partir d'une teneur de 6 pour cent environ ; il se produit alors, en présence d'un corps en ignition quelconque, une onde enflammée qui se déplace avec une vitesse de plusieurs milliers de mètres par seconde. Des appareils appelés *grisoumètres* permettent de déceler la présence de ce gaz redoutable. Mais il peut aussi se produire des explosions et des incendies par inflammation spontanée des poussières charbonneuses amenées à un état de finesse impalpable ; on a calculé qu'une centaine de grammes de ces poussières par mètre cube d'air est capable de por-



ter, par sa combustion, cet air à une température supérieure à 2500° d'où encore la production d'une onde enflammée, différente de celle due au grisou, et se déplaçant avec une vitesse d'environ un mètre par seconde. On lutte contre ce danger par un arrosage fréquent des galeries de façon à abattre les poussières, mais il en résulte une humidité constante qui finit parfois par amener chez les mineurs le développement d'une nouvelle maladie connue sous le nom d'*ankylostomiase* et qui est due à un ver particulier aux pays chauds ; ce parasite se développe très bien dans le sol des houillères et des tunnels transalpins et provoque une sorte d'anémie.

E) **Transport souterrain.** — Le charbon, une fois dégagé de la roche encaissante, doit être amené depuis le chantier d'abatage jusqu'à la *recette* ou *accrochage*, c'est-à-dire jusqu'au débouché de la galerie dans le puits d'extraction. Dans ce but, on a posé sur le sol, *ou mur*, des galeries un réseau de rails sur lesquels roulent les wagonnets, bennes, berlines, qui contiennent le charbon. Les ouvriers chargés de ce travail de transport sont les *herscheurs* ou *rouleurs*. Le roulage à la main est surtout pratiqué dans les parties secondaires et variables des chantiers, tandis que le roulage au moyen de chevaux est usité dans les grandes galeries. On emploie aussi des moyens de propulsion mécanique.

F) **Extraction.** — La montée du charbon se pratique par le puits dit « d'extraction ». Aussitôt que le convoi de bennes est arrivé à la *recette* (*accrochage, envoi*), les véhicules, au nombre de huit à douze, sont poussés dans les divers étages de la cage ascenseur. On fait en sorte que la montée d'une cage à bennes pleines coïncide avec la descente d'une autre à bennes vides afin de contrebalancer le poids mort des wagonnets ; ceux-ci, une fois arrivés à la recette supérieure, sont remplacés immédiatement par un nombre égal de véhicules vides et cela automatiquement dans les nouvelles installations, afin de gagner du temps. C'est qu'en effet la *capacité d'extraction* d'un puits dépend essentiellement de la *vitesse de circulation* que l'on peut réaliser dans le sens vertical ; un calcul facile montre que si un puits a 500 mètres de profondeur et si la cage peut remonter 2 tonnes de charbon, les 600 voyages aller et retour

nécessaires pour remonter 1 200 tonnes en 24 heures devront être faits à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure, en admettant que la moitié du temps soit employée au chargement et au déchargement. C'est donc une activité circulatoire comparable à celle d'une voie ferrée à trafic déjà intense et l'on conçoit que, dans ces conditions, le puits et ses rails verticaux exigent une surveillance et un entretien attentifs.

G) **Travail extérieur.** — La houille, une fois amenée au dehors, ou, comme l'on dit, sur le *carreau* de la mine, s'y trouve à l'état de *tout venant* ; elle reçoit alors des soins particuliers ; un lavage pour la débarrasser de l'argile adhérente et un criblage, ou triage qui permet de la classer en sortes

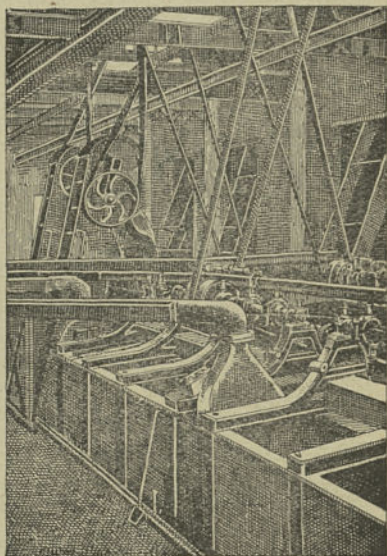


Fig. 24. — Dispositif pour le lavage du charbon à Anzin (fosse d'Arenberg).

commerciales différant suivant la grosseur ; gros, gaillettes, gailleteries, gailletins, têtes de moineau, fines (grains et poussiers) (voir fig. 24 et 25).

On emploie encore d'autres combustibles dits *artificiels* : coke, agglomérés, charbon de bois, gaz de houille, etc. ; leur préparation est exposée plus loin. (Voir : *industries préparatoires*). Le *pouvoir calorifique* d'un combustible, ou quantité de chaleur dégagée par la combustion d'un kilogramme, est l'élément essentiel de sa valeur marchande ; scientifiquement, ce pouvoir calorifique s'exprime en *calories* ; industriellement,



on l'exprime souvent par l'indication du poids d'eau qu'il est



Fig. 25. — Atelier de triage du charbon.

susceptible de vaporiser, en brûlant sur la grille d'un foyer.

**Mines métalliques. — Minerais de fer. —** Les



gisements de minerais métalliques, ou *gîtes métallifères*, se rencontrent dans le sein de la terre sous trois formes différentes :

A) Ceux en forme d'*amas* lenticulaires ou ovoïdes ;

B) Ceux qui se présentent sous l'aspect de *dépôts stratifiés* ou sédimentaires, formés par suite de réactions chimiques dans les eaux tranquilles et qui sont d'une exploitation facile et régulière (voir fig. 26) ;

C) Enfin ceux qui affectent la forme de *filons* dans les fractures et failles de l'écorce terrestre.



Un filon peut avoir été rempli par émission de produits éruptifs venant des profondeurs, plus fréquemment par des apports dus aux *eaux thermales*, ou eaux chaudes minéralisées, circulant au sein de la terre, comme le montrent les zones emboîtées les unes dans les autres qu'on observe généralement.

Fig. 26. — Disposition des couches de minerai de fer oolithique de Lorraine. (Boule : *Cours d'Histoire Naturelle*, 3<sup>e</sup> année).

Les parois d'un filon, encore appelées *épointes*, sont tapissées de matériaux stériles, inutilisables, dits *salbandes* (d'un mot allemand signifiant « lisière »). Le minerai, disposé par couches, est plus ou moins mélangé de *gangue* ou matière stérile. L'épointe supérieure d'un filon incliné a reçu le nom de *toit*, l'épointe inférieure celui de *mur*. Dans les mines on donne aussi le nom de *toit* à la partie supérieure d'une galerie et le nom de *mur* à la partie inférieure.

Les principaux minerais de fer sont les suivants :

La *Magnétite*, variété d'oxyde de fer ( $Fe^3O_4$ ) de couleur noire, ainsi appelée parce qu'elle agit assez souvent sur la limaille de fer qu'elle attire comme un aimant ; elle prend alors les noms de *Pierre d'aimant*, d'*aimant naturel*. C'est un excellent minerai de fer qui forme en Suède de véritables montagnes.

L'*Oligiste* est du sesquioxyde de fer *anhydre* ( $Fe^2O_3$ ), c'est-à-

dire sans eau ; il est gris métallique foncé, mais si on le découpe en lames extrêmement minces, translucides, il présente alors une couleur rouge sang qui lui vaut encore le nom d'*hématite*.



Fig. 27. — Minerai de fer : Il existe de nombreuses variétés  
nodule de l'hématite rouge.

(Boule : Cours  
d'Histoire Naturelle,  
3<sup>e</sup> année).

Il en existe d'assez nombreuses variétés souvent cristallisées : oligiste micacé ; oligiste compact ou fibreux de couleur rouge (*hématite rouge* en masses mamelonnées) (voir fig. 27) ; la *sanguine*, l'*ocre rouge*, en sont des variétés : la première terreuse, la seconde argileuse.

La *limonite*, ou *hématite brune* est un sesquioxyde de fer hydraté ( $2\text{Fe}^2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ ) amorphe (c'est-à-dire sans forme cristalline apparente) et qui constitue le minerai de fer le plus répandu ; réduite en poudre, elle est jaune brun, tandis que la poussière de l'oligiste est rouge.

de limonite : *fibreuse* (ou hématite brune proprement dite) en masses mamelonnées ; *pisolithique*, formée de petits grains de la grosseur d'un pois (voir fig. 28). Le même minerai, en grains plus petits, de la dimension des œufs de poisson, prend le nom de limonite *oolithique* et forme des couches stratifiées ;

La *limonite terreuse*, friable, jaunâtre, argileuse et dont l'*ocre jaune* est une variété très argileuse employée en peinture, ainsi d'ailleurs que son analogue l'ocre rouge.

Un autre minerai de fer très apprécié et très répandu en Angleterre est la *sidérose* ou carbonate de fer ( $\text{CO}_3\text{Fe}$ ) dont il existe aussi quelques gisements en France, par exemple à Allevard, dans l'Isère, et au Canigou ; on l'appelle encore *fer spathique* parce qu'il se présente parfois en cristaux rhomboédriques semblables à ceux du *Spath d'Islande* (carbonate de calcium pur, transparent et cristallisé).



Il convient aussi de signaler, comme matières servant maintenant à l'extraction du fer, des minerais phosphorés, comme ceux du bassin de Meurthe-et-Moselle, qui étaient autrefois considérés comme sans valeur ; et cela parce qu'on ne savait pas leur appliquer un traitement métallurgique approprié, capable de les débarasser complètement du soufre et du phosphore qui rendent le métal cassant.

C'est seulement depuis l'invention du procédé Thomas et Gilchrist que de tels minerais, si délaissés antérieurement, ont pris actuellement une importance considérable, accrue encore par ce fait que les scories de déphosphoration (scories Thomas) constituent un engrais très utile pour la culture du blé. Ces considérations expliquent le colossal développement qu'ont pris en ces dernières années ces régions de la Lorraine française qui ne contiennent pas moins de 3 milliards de tonnes et constituent ainsi un des plus puissants gisements du monde entier où l'Allemagne elle-même et la Belgique viennent s'approvisionner.

L'extraction des minerais métalliques se fait par les méthodes générales qui ont été exposées antérieurement, à propos de la houille notamment. La matière, une fois amenée sur le carreau de la mine, subit un premier triage à la main ayant pour but de séparer les parties stériles des parties riches ou des mixtes ; celles-ci subissent ensuite un broyage à la suite duquel un nouveau triage aboutit encore à la séparation en trois tas : riche, mixte, stérile. Les broyages ultérieurs plus fins sont suivis d'une séparation par le moyen d'un courant d'eau qui laisse déposer d'abord les parties riches, métallifères, plus denses. Tout ce qui est stérile est immédiatement rejeté. Le



Fig. 28. — Minerai de fer pisolitique.

(Boule, Gravier, Lecomte : *Cours d'histoire naturelle*, 3<sup>e</sup> année.)



reste, qui représente un minerai enrichi, est vendu ou traité en vue de l'extraction du métal (Voir plus loin).

Les principaux pays producteurs de minerais de fer sont : les États-Unis, l'Allemagne, l'Angleterre, la France-Algérie, l'Espagne, la Suède, l'Autriche, le Luxembourg, etc.

**Soufre et pyrites.** — Le soufre natif s'extrait du sol des régions volcaniques, notamment en Silice et à Pouzzoles, près de Naples. On en trouve aussi dans la Louisiane, aux États-Unis.

La pyrite de fer ( $\text{FeS}^2$ ) est un sulfure de fer que l'on trouve en assez grande abondance au Portugal et en Espagne, en France, aux États-Unis, en Allemagne, en Norvège, etc. Elle n'est pas employée directement comme minerai de fer, mais subit l'une ou l'autre des opérations suivantes : soit une *calcination*, c'est-à-dire un chauffage à l'abri de l'air, qui en fait dégager de la vapeur de soufre qu'on recueille ; soit un *grillage*, c'est-à-dire un chauffage en présence de l'air qui, agissant alors par son oxygène, donne lieu à un dégagement de gaz sulfureux utilisé pour la fabrication de l'acide sulfurique. La *blende*, ou sulfure de zinc ( $\text{ZnS}$ ), est aussi utilisée dans le même but. Dans ces deux cas, le résidu du grillage est un oxyde, soit de fer, soit de zinc, qui est traité ensuite métallurgiquement.

Rappelons enfin l'existence des minerais d'autres métaux très utiles comme ceux de cuivre, plomb, étain, antimoine, mercure, nickel, argent, or, platine.

---

## CHAPITRE II

### INDUSTRIES PRÉPARATOIRES

- DIVISIONS DU SUJET. — 1<sup>o</sup> **Industries élaboratrices** : *Matériaux artificiels de construction (plâtre, chaux, ciments). — Combustibles artificiels (gaz de houille, coke, charbon de bois). — Métaux usuels (fer, fontes et aciers). — Electro-métallurgie.*
- 2<sup>o</sup> **Industries manufacturières** : *Tôle, fil de fer, fonderie, forgeage, clouterie, vis, boulons, ustensiles de ménage, serrures, coutellerie, armes, principales machines-outils.*

PRÉAMBULE. — Nous rappelons, d'après la division qui a été adoptée au début de cet ouvrage, que nous considérons deux sortes d'industries préparatoires :

1<sup>o</sup> Les *industries élaboratrices* qui sont celles faisant subir aux matières premières, telles que nous les livre le sol, une préparation physique ou chimique les transformant en d'autres produits de nature différente ;

2<sup>o</sup> Les *industries manufacturières* qui sont celles où intervient plus spécialement le travail manuel ou mécanique, et qui ont pour but le *façonnage* de la matière suivant une *forme* adaptée à l'usage que nous voulons en faire.

Ainsi, en ce qui concerne les produits extraits du sol, nous distinguerons, d'une part, comme industries élaboratrices, celles qui ont pour but l'obtention soit de matériaux ou combustibles artificiels : plâtre, chaux, ciments, gaz d'éclairage, coke, charbon de bois, soit du fer et de ses dérivés, fontes et aciers ; d'autre part, comme industries manufacturières, celles qui, par les divers procédés de la fonderie, du forgeage, laminage, tréfilage, martelage et emboutissage, fabriquent la tôle, le fil de fer, les clous, les vis, les ustensiles et les machines de toutes sortes.

## INDUSTRIES ÉLABORATRICES

### I. — MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ARTIFICIELS PLÂTRE, CHAUX ET CIMENTS

**Plâtre.** — Le *gypse*, ou sulfate de calcium hydraté naturel  $[\text{SO}^4\text{Ca}, 2\text{H}^2\text{O}]$ , chauffé vers  $130^{\circ}$ - $140^{\circ}$  perd les trois quarts de son eau de cristallisation et se convertit en *plâtre cuit* formé par du sulfate de calcium presque anhydre  $[\text{SO}^4\text{Ca}, \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}^2]$ . Cette

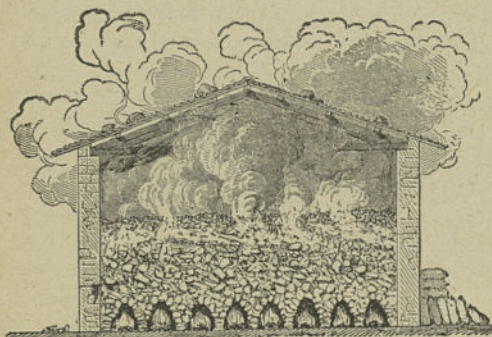


Fig. 29. — Four à plâtre.

matière blanche étant pulvérisée et malaxée avec une quantité d'eau convenable, forme une pâte qui durcit assez rapidement, en s'échauffant et en augmentant notamment de volume (foisonnement).

On explique ce durcissement en admettant que le plâtre reprend l'eau qu'il avait perdue par la cuisson, et se concrète alors sous forme d'une infinité de petits cristaux ayant l'aspect caractéristique de fers de lance comme on en trouve de plus gros à l'état naturel, enchevêtrés les uns dans les autres. Cette propriété rend le plâtre particulièrement propre au moulage et à la confection d'enduits et de revêtements pour les murs intérieurs et les plafonds des habitations. Le gypse chauffé



au-dessus de la température indiquée ne fait plus prise (plâtre *trop cuit*) ; il en est de même par un abandon prolongé à l'humidité (*plâtre éventé*).

La cuisson s'opère dans des fours d'une extrême simplicité constitués par une chambre en maçonnerie assez épaisse couverte d'une toiture surélevée laissant des vides sur les côtés.

A l'intérieur, on forme, avec les pierres à plâtre les plus grosses, un certain nombre de petites voûtes au-dessus desquelles on superpose d'autres pierres plus petites et ainsi de suite, en terminant par le menu. Sous les voûtes on allume un feu de bois que l'on entretient régulièrement (V. fig. 29) ; il se dégage alors une grande quantité de vapeur d'eau. La cuisson terminée et le four refroidi, on défourne, pulvérise sous une meule, tamise et ensache. Le plâtre fin, destiné au moulage, provient des meilleurs morceaux.

Le *stuc* est du plâtre gâché avec une solution de gélatine qui retarde la prise, mais augmente finalement la dureté et communique à la matière une quasi-transparence analogue à celle du marbre. On peut varier les effets par l'introduction de divers colorants dans la pâte : colcothar, indigo, minium, noir de fumée, manganate, etc. Le *stuccolin* est une variété de stuc assez flexible dont on fait des ornements décoratifs s'adaptant facilement sur toute surface courbe quelconque.

Le *staff* est un composé de plâtre et de filasse avec lequel on reproduit des ornements par le procédé du moulage. Le plâtre fin est gâché avec une dissolution claire de gélatine ou de colle forte de manière à constituer une bouillie qu'on applique sur le moule préalablement huilé, afin d'empêcher l'adhérence. Par-dessus cette première couche on en dépose d'autres rendues plus résistantes au moyen de mèches d'étoupe trempées dans la mixture et réparties sur toute la surface, on consolide finalement l'ensemble au moyen de baguettes de bois ou même de tiges de fer et l'on démoule lorsque le plâtre a fait prise.

Le stuc *aluné* très dur s'obtient en gâchant du plâtre avec une solution d'alun.

**Chaux et ciments.** — La chaux *vive* ou oxyde de calcium anhydre (CaO) s'obtient en chauffant vers 1000° un

calcaire quelconque qui prend alors dans ce cas particulier le nom de *Pierre à chaux*. Si l'on veut un produit assez pur, il faut partir d'un calcaire de bonne qualité, pauvre en magnésie ( $MgO$ ), argile, oxyde de fer. Comme cela a déjà été dit antérieurement, la décomposition du calcaire sous l'action de la chaleur consiste en un dédoublement de ce corps en deux autres :



Fig. 30. — Fabrication de la chaux ; four intermittent.

le gaz carbonique ( $CO^2$ ) qui se dégage invisiblement et la chaux qui forme le résidu ; celle-ci prend le nom de *chaux vive* parce que si, après refroidissement, on vient à l'humecter d'eau elle absorbe ce liquide avec beaucoup d'avidité, s'échauffe beaucoup et foisonne en se *délitant*, c'est-à-dire qu'elle augmente de volume et se désagrège en une poudre blanche dite *chaux éteinte* [composition  $Ca(OH)^2$ ].

Les fours qui servent à cette cuisson — ou *fours à chaux* — sont de deux sortes : les *discontinus* et les *continus*. Les fours discontinus, ou *intermittents*, sont constitués par une cuve ovoïde en maçonnerie réfractaire (voir fig. 30), que l'on remplit de calcaire ; celui-ci est soutenu à la partie inférieure par une sorte de voûte grossière construite au moyen des plus gros moellons. On allume du feu dessous et lorsqu'on juge l'opération terminée, on laisse refroidir et on défourne.

Si la chaux était portée à une température trop élevée, voisine de  $1600^\circ$ , elle subirait un commencement de vitrification et deviendrait alors très difficilement effritable par l'eau ou du moins au bout d'un temps fort long ; sa solubilité dans les acides serait de même fort amoindrie (oxydes *cuits* de la chimie).

Les fours continus, ou *coulants*, permettent, comme leur nom l'indique, d'obtenir de la chaux sans qu'on soit obligé d'inter-



rompre la marche de la fabrication. Il en existe plusieurs genres. Dans celui que représente la figure 31, le calcaire et le charbon (coke) sont chargés par couches alternatives ; au fur et à mesure que la cuisson s'opère, le contenu du four s'abaisse progressivement et les morceaux de chaux vive tombent dans le foyer d'où on les retire ; on remplace par une charge équivalente à la partie supérieure.

D'autres fours continus ont un foyer *latéral*, c'est-à-dire situé sur le côté, de sorte que le calcaire et la chaux ne sont pas mélangés au combustible. Enfin, dans certaines industries où l'on a besoin à la fois de la chaux et du gaz carbonique (sucreries, soude Solvay, etc.), on s'arrange de manière à capter ce gaz ; à cet effet, on adapte à la partie supérieure du four un tuyau de dégagement dans lequel on produit un vide partiel au moyen d'une pompe aspirante ; le gaz est ensuite dirigé dans un laveur à eau qui le débarrasse de ses poussières et autres impuretés et il peut alors être utilisé industriellement.

On obtient diverses qualités de chaux vive selon la pureté originelle du calcaire employé : si celui-ci est relativement pur, si, par exemple, il ne contient qu'une petite quantité d'argile sans magnésic, la chaux produite est dite *grasse* parce que, en présence d'un peu plus d'eau que ce qui est nécessaire pour l'éteindre, elle forme une pâte liante, douce au toucher (mais caustique), éminemment propre, lorsqu'elle est mélangée à trois ou quatre fois son volume de sable, à former un bon mortier de construction (*mortier de chaux*). Ce mortier, abandonné à l'action de l'atmosphère, se solidifie peu à peu par suite d'une dessiccation et d'une absorption lente du gaz carbonique de l'air ; on l'appelle encore *mortier aérien* pour rappeler qu'il ne peut durcir dans l'eau comme le font d'autres mortiers, dits *hydrauliques*, dont il va être question un peu plus loin. C'est la dessiccation du mortier qui en détermine la *prise* et c'est l'absorption subséquente du gaz carbonique qui, par formation de carbonate, provoque le *durcissement* ultérieur. Cette absorption est, en effet, insignifiante à la prise et se propage si lentement de l'extérieur à l'intérieur qu'il n'est pas rare de trouver



encore de la chaux libre dans les parties centrales des mortiers de vieilles bâtisses.

La *chaux maigre*, au contraire, ne foisonne que fort peu ou pas du tout en présence de l'eau et ne peut faire un bon mortier. Une proportion de magnésie de 10 pour 100 dans le calcaire suffit pour

rendre la chaux maigre et, par suite, il ne serait pas possible d'employer la *dolomie* (carbonate double de calcium et de magnésium) pour la fabrication d'une bonne chaux.

Si le calcaire contient une proportion un peu appréciable d'argile, une nouvelle qualité apparaît dans la chaux qui en résulte : celle de l'*hydraulique*,

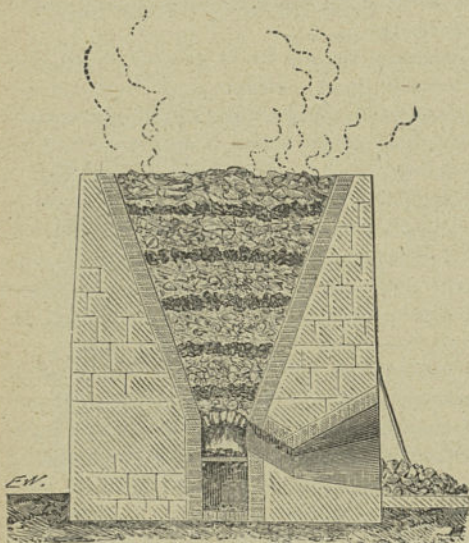


Fig. 31. — Fabrication de la chaux ; four continu.

c'est-à-dire la propriété, par gâchage avec l'eau, de faire prise, puis de durcir, non seulement à l'air libre, mais aussi et surtout au sein de l'eau ; il suffit que le calcaire contienne environ 15 à 20 pour 100 d'argile pour obtenir une telle *chaux hydraulique* que l'on mélange, pour l'emploi, avec une quantité convenable de sable de façon à constituer un *mortier hydraulique*.

Puis au fur et à mesure que la proportion d'argile augmente, on obtient des produits de plus en plus hydrauliques et l'on arrive ainsi aux *ciments* qui font prise en quelques heures sous l'eau si la teneur en argile va jusqu'à 36 pour 100 (ciments à

*prise lente*), ou en quelques minutes si la proportion est comprise entre 36 et 66 pour 100 (ciments à *prise rapide*). Cette précieuse propriété est utilisée, comme l'on sait, pour la construction de divers ouvrages tels que digues, piles de ponts, tuyaux de conduite, caniveaux, etc., en mélangeant le ciment avec du sable en quantité calculée (mortier de ciment).

Au delà d'une proportion d'argile de 66 pour 100, le calcaire ne fournit plus que des produits durcissant de moins en moins et dits *ciments maigres*. Enfin si l'argile vient à prédominer très fortement sur la chaux, on obtient une *pouzzolane* artificielle qui, comme la pouzzolane naturelle, ne peut plus, seule, former pâte durcissante avec l'eau, mais qui acquiert cette propriété par une addition suffisante de chaux éteinte.

Nous allons maintenant passer rapidement en revue la fabrication et les propriétés des produits hydrauliques dont il vient d'être question.

**Matériaux hydrauliques.**— Il y a deux facteurs principaux qui interviennent dans l'appréciation des qualités d'un produit hydraulique : 1<sup>o</sup> La rapidité plus ou moins grande de la *prise* ; 2<sup>o</sup> L'intensité du *durcissement*. L'importance de ces facteurs s'apprécie officiellement, d'après l'arrêté ministériel du 2 juin 1902, au moyen de l'*aiguille de Vicat* ayant une section de 1 millimètre carré et un poids de 300 grammes. On gâche le ciment ou la chaux avec de l'eau potable à 13<sup>o</sup> de température de manière à former un gâteau de consistance assez ferme de 4 centimètres d'épaisseur et on l'immerge immédiatement soit dans l'eau douce, soit dans l'eau de mer, selon la nature des travaux projetés. Le début de la prise est l'instant à partir duquel l'aiguille ne peut plus traverser le gâteau dans toute son épaisseur. La fin de la prise est indiquée par le moment où cette même aiguille ne peut plus y entrer qu'à une profondeur imperceptible inférieure en tout cas à un dixième de millimètre.

Certains produits font prise au bout de plusieurs semaines ; d'autres après quelques minutes seulement. La matière durcit ensuite et acquiert sa cohésion maxima au bout de plusieurs mois ou même d'une année. Cette cohésion et cette dureté sont constatées ou éprouvées officiellement par des essais de résis-



tance à la traction et à l'écrasement en opérant sur des masses de forme et de dimensions déterminées appelées *éprouvettes*.

Ce durcissement ne s'opère pas d'une manière progressive et régulière ; il passe au contraire par des alternatives curieuses qui ont été étudiées mécaniquement et calorimétriquement, car elles sont accompagnées d'un dégagement de chaleur qui est en rapport étroit avec le progrès du durcissement. Ce dégagement et ce durcissement sont d'abord très marqués au début, puis se calment pour reprendre au bout de plusieurs jours, s'amoinrir de nouveau, s'accuser encore et ainsi de suite par ondulations périodiques successives jusqu'au deuxième mois où ils deviennent inappréciables. Ces phénomènes montrent avec évidence la complexité des causes qui interviennent pour provoquer la prise, puis le durcissement ; on admet généralement que, par la cuisson du calcaire argileux, il s'est formé à haute température un silico-aluminate de calcium ou un mélange de produits analogues ; ces corps pulvérisés étant mis en présence de l'eau subissent des actions différentes : les aluminates calciques s'hydratent rapidement comme le plâtre en cristallisant confusément et amènent probablement la prise de l'ensemble, tandis que le silicate de calcium très basique est décomposé lentement et partiellement en chaux hydratée et en silicate moins basique provoquant le durcissement définitif.

C'est ainsi que le ciment *prompt*, qui fait prise en huit ou quinze minutes, et qui est employé pour les travaux de moyenne fatigue, tels que canaux, voûtes, égouts, citernes et réservoirs, etc. reste dur un jour ou deux, puis se *relâche*, comme l'on dit, c'est-à-dire se ramollit légèrement ; il durcit ensuite de nouveau plus fortement et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ait atteint sa stabilité moléculaire finale.

Une matière est, par définition, d'autant plus hydraulique qu'elle fait prise plus rapidement par l'action de l'eau. La substance qui communique principalement cette propriété à la chaux est, comme on vient de le remarquer antérieurement, l'*argile* ou silicate d'aluminium, et cela d'autant plus que la proportion en est plus grande. On peut donc juger de l'hydraulicité d'un produit fabriqué par sa teneur en substances dites *hydraulisantes* (silice et alumine) relativement à la chaux : c'est ce rapport qu'on désigne sous le nom d'*indice d'hydraulicité*. Ou encore, ce qui revient au même, on peut prévoir l'hydraulicité que donnera, après cuisson, un calcaire marneux d'après la proportion d'argile qu'il contient. Le tableau suivant fournit, à cet égard, quelques indications générales et moyennes.



PRODUIT OBTENU APRÈS CUISSON.	COMPOSITION DU CALCAIRE AVANT LA CUISSON.		DURÉE DE LA PRISE APRÈS IMMERSION DANS L'EAU.
	CALCAIRE.	ARGILE.	
Chaux grasse . . . . .	98	2	2 à 3 semaines (jamais grande dureté).
Chaux moyennement hydraulique . . . . .	89	11	
Chaux hydraulique ordinaire . . . . .	83	17	1 semaine environ.
Chaux éminemment hydraulique . . . . .	80	20	Quelques jours.
Chaux limite . . . . .	77	23	8 à 16 heures.
Ciment limite inférieure . . . . .	73	27	1 à 8 heures.
Ciment ordinaire . . . . .	64	36	
Ciment limite supérieure . . . . .	34	66	8 à 15 minutes.
Commencement des pouzzolanes . . . . .	17	83	.

On distingue immédiatement une chaux hydraulique d'un ciment par ce fait que la première, étant humectée d'eau, s'éteint, se délite en se réduisant d'elle-même en poussière, ce qui est dû à la présence d'un excès de chaux vive, tandis que, dans les mêmes conditions, un ciment ne s'éteint ni ne s'effrite, de sorte que, pour qu'il puisse subir l'action complète de l'eau, il est de toute nécessité de le pulvériser finement après cuisson.

**Fabrication de la chaux hydraulique.** — Les chaux hydrauliques dites *naturelles* sont obtenues par la cuisson des calcaires argileux dans des fours semblables à ceux en usage pour la préparation de la simple chaux. Les chaux hydrauliques *artificielles* sont fabriquées en calcinant des briquettes formées soit d'un mélange intime de craie et d'argile (chaux de première cuisson), soit d'un mélange de chaux grasse éteinte et d'argile (chaux de deuxième cuisson).

**Fabrication des ciments.** — Les matières premières qui servent à cette préparation sont des marnes ou des calcaires spéciaux riches en argile, ou encore des mélanges artificiels d'argile et de chaux en proportion calculée.

Les ciments à prise rapide — encore connus sous le nom impropre de *ciments romains* — comme ceux de Vassy (Yonne) et de Boulogne-sur-Mer sont cuits à une température élevée, mais un peu inférieure au point de vitrification de la chaux (Voir antérieurement).

Les ciments à prise lente — dits encore *ciments de Portland* — sont chauffés jusqu'à une température un peu supérieure à la vitrification commençante de la chaux. C'est le meilleur des mortiers et il s'emploie partout où la construction doit fatiguer beaucoup par usure, trépidations ou chocs : chaussées, dalles, fondations pour bâtis de machines, etc. Son nom de Portland n'est plus qu'une simple désignation commerciale rappelant qu'une fois sec il a l'aspect et la solidité du calcaire de ce nom.

Tandis que le ciment prompt, ou romain, gâché avec de l'eau, fait prise au bout de quelques minutes, celui de Portland se rapproche des *chaux limites* et ne prend corps que plus lentement, mais il acquiert avec le temps une dureté si grande que, frappé avec un morceau de métal, il résonne comme un objet en argile cuite. On peut le couler dans des moules et obtenir ainsi des motifs architecturaux, des tuyaux, etc. ; on l'emploie soit seul, soit plus généralement mélangé à du sable lavé aussi pur que possible (mortier de ciment) ; il faut se garder d'y adjoindre des matières impures, argileuses ou autres qui pourraient en altérer les propriétés et notamment la résistance finale ; donc éviter de le mélanger avec certains corps, comme le sulfate de baryte (spath pesant) ou le gypse, sous prétexte d'en éclaircir la teinte. Il faut aussi que la proportion d'eau soit convenable, ni insuffisante ni en excès, et, lorsque le ciment est pris, le préserver pendant plusieurs jours d'une dessiccation trop hâtive.

*Les matières pouzzolaniques* sont des substances naturelles ou artificielles ayant la composition qualitative générale des ciments, mais dépourvues d'hydraulicité par suite de la prédominance exagérée de l'argile relativement à la chaux ; elles ne peuvent donc pas, par elles-mêmes, former un bon mortier durcissant dans l'eau, mais elles acquièrent cette propriété si

on les mélange avec une proportion déterminée de chaux grasse éteinte en poudre.

Les pouzzolanes naturelles sont d'origine volcanique. Citons entre autres : celles de Pouzzoles, près de Naples, celles de l'île Santorin, celles d'Auvergne, etc. Le *trass* est une matière analogue rejetée jadis par les anciens cônes volcaniques de la vallée du Rhin. Ce sont des masses poreuses comme la pierre ponce

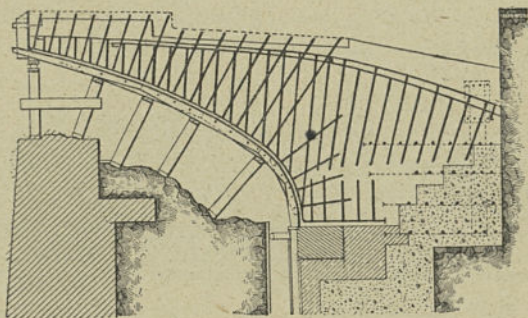


Fig. 32. — Encorbellements de la rue de Rome, à Paris (Gare St-Lazare) ; coffrages ayant servi à leur construction.

A gauche, ancien mur qui a disparu pour l'élargissement de la voie.

et ne contenant qu'une très faible quantité de chaux, soit 9 à 10 pour 100.

Quant aux pouzzolanes artificielles, ce peuvent être des matières très diverses mais contenant toutes de l'argile ou de la silice et qui ont été portées à une haute température : argile cuite, schistes calcinés, scories de forge et laitiers de hauts fourneaux, cendres de houille, sables torréfiés, etc.

Le *ciment de pouzzolane*, ou ciment de scories, ou *ciment Victoria*, est un mélange intime de scories pulvérisées ou de laitier de hauts fourneaux et de chaux grasse éteinte.

D'après ce qui précède on voit que, si l'on veut préparer un *mortier hydraulique*, on pourra incorporer de l'eau soit à un mélange de chaux hydraulique et de sable, soit à un mélange de chaux grasse et d'une pouzzolane ; de tels mortiers, quoique



n'atteignant pas la rapidité de prise et la dureté des bons ciments, sont néanmoins capables de rendre des services réels dans un grand nombre de cas particuliers.

Le *béton* est une sorte de conglomérat formé par des cailloux noyés dans un mortier hydraulique. On en fait des monolithes pour constructions, des fondations de piles de ponts, des radiers de travaux hydrauliques, des sous-œuvres de voies publiques, etc.

Le *ciment armé*, ou *béton armé*, dont les applications à l'art de construire sont maintenant si étendues, est formé par

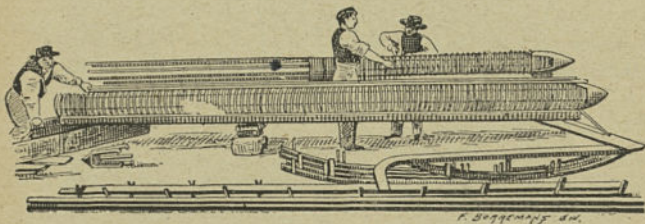


Fig. 33. — Fabrication de pilots en ciment armé ; montage de l'armature.

un faisceau de tiges de fer entourées d'un revêtement en ciment et présentant, après durcissement, une rigidité, une résistance et une inaltérabilité remarquables. Ces propriétés capitales sont dues à la présence de l'armature en fer qui résiste à la traction, et à la masse cimentaire qui résiste à la compression et dont la réaction chimique plutôt alcaline préserve le métal de toute destruction.

Ajoutons que le fer et le ciment se dilatent ou se contractent également sous l'influence des changements de température et qu'il en résulte une adhérence extraordinaire des deux substances et une cohésion parfaite de l'ensemble.

Le béton armé permet d'effectuer une foule de travaux en leur donnant le maximum de légèreté et de résistance : murs, planchers, encorbellements, cuves, conduites, etc. On commence par faire un *coffrage* en bois, dont le vide intérieur correspond aux dimensions de l'objet à réaliser et on y dispose, suivant des

règles précises qu'indique l'art de l'ingénieur et la résistance des matériaux, les barres de fer qui constitueront l'armature. On coule ensuite le béton et on abandonne l'ouvrage à lui-même, pendant cinq à six semaines au moins, afin que le durcissement puisse atteindre le degré voulu. Enfin on démoule et la construction se trouve ainsi réalisée économiquement et rapidement, avec l'avantage de pouvoir lui donner toute forme voulue à l'avance avec beaucoup plus de facilité que ne le permet la pierre naturelle.

Le béton armé se prête à l'exécution d'œuvres architecturales très diverses; la figure 32 se rapporte à la construction des audacieux encorbellements de la rue de Rome pour l'élargissement du « goulet » trop étroit de la gare Saint-Lazare à Paris. Les figures 33 et 34 montrent la confection d'un « pilotis » pour caisson en béton armé destiné à servir d'assise à l'une des piles du viaduc d'Asnières, ce procédé ayant évité l'emploi d'appareils compliqués tels que cloches à plongeur, air comprimé, etc. (voir aussi fig. 366).

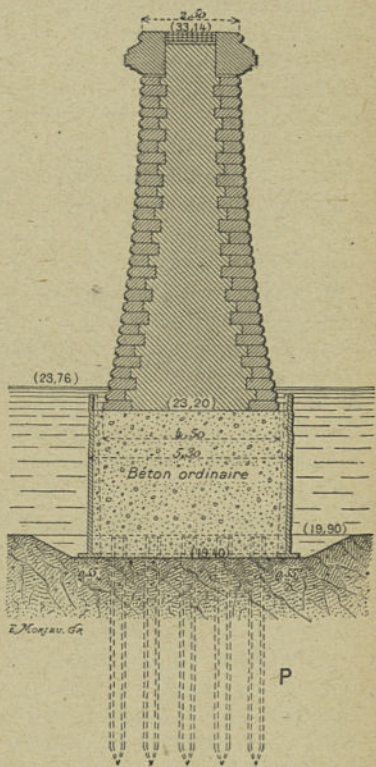


Fig. 34. — Pile de pont (nouveau viaduc d'Asnières, près Paris) établie sur un caisson en béton reposant lui-même sur un pilotis en ciment armé P.



Nous nous bornons à ces quelques exemples, mais on pourrait les multiplier à l'infini.

**Briques et tuiles.** — La brique est une pierre cuite, artificielle, composée d'argile et de sable ou de terre argileuse, le sable ayant pour rôle de restreindre le plus possible le *retrait* ou diminution de volume que subit l'argile par la dessiccation et la chaleur.

La terre à brique est d'abord abandonnée longtemps à elle-même à l'action de l'air libre, puis mélangée d'eau, malaxée dans un cylindre dans lequel tourne un axe muni d'ailettes, moulée mécaniquement ou à la main, comprimée, séchée à l'air libre et cuite dans des fours à voûte surbaissée.

La brique rend d'immenses services dans les pays où le calcaire de construction fait défaut ; elle est dure, sonore, résistante et n'absorbe que peu d'eau quand elle est de bonne qualité.

Les dimensions habituelles des briques pleines sont  $22 \times 11 \times 5,5$  en centimètres. On fait aussi des briques creuses plus légères, utilisées généralement pour les cloisons. Signalons aussi les nouvelles briques silico-calcaires dont le bel aspect est bien connu et ne nécessite pas d'enduit. Ces briques sont composées d'un mélange de chaux et de sable *sans argile* ; après malaxage et moulage sous très forte pression, on enfourne immédiatement sans dessiccation préalable à l'air libre et l'on cuit en autoclave pendant dix heures sous l'action de la vapeur d'eau à 10 kilogrammes de pression.

Les briques ainsi obtenues peuvent être employées aussitôt après la cuisson, et elles présentent une résistance à l'écrasement bien supérieure à celle des briques ordinaires.

Les *tuiles* qui servent à recouvrir le toit des maisons se fabriquent d'une manière analogue aux briques argileuses, mais elles constituent une couverture beaucoup plus lourde que le zinc ou l'ardoise.

Enfin les conduits de fumée sont maintenant construits dans les grandes villes au moyen de tronçons de tubes en poterie d'argile qui s'emboîtent les uns au-dessus des autres et qui portent des noms spéciaux (*wagons, boisseaux*), selon leur forme.



## II. — COMBUSTIBLES ARTIFICIELS : GAZ DE HOUILLE, COKE, AGGLOMÉRÉS, CHARBON DE BOIS

**Gaz de houille.** — Lorsqu'on chauffe fortement un morceau de houille en *vase clos*, c'est à-dire à l'abri de l'air ou de l'oxygène, de façon à éviter la combustion du charbon, on observe le dégagement d'un gaz combustible et la formation d'un résidu poreux et charbonneux appelé *coke*. On peut montrer ce phénomène par l'expérience suivante : on remplit à moitié une cornue peu fusible (en grès) avec

de petits morceaux de charbon de terre ; le bouchon de liège qui ferme le col de la cornue est traversé par un tube de verre plusieurs fois recourbé, comme le montre la figure 35, et quise rend sous une éprouvette remplie d'eau. On

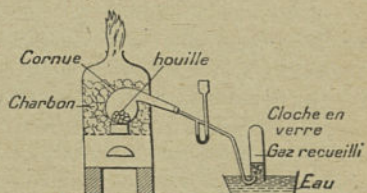


Fig. 35. — Expérience montrant le principe de la fabrication du gaz d'éclairage.

introduit la cornue dans un fourneau à réverbère que l'on remplit ensuite de charbon jusqu'à l'orifice supérieur et l'on allume par le bas ; on voit alors des bulles gazeuses se dégager par le tube de verre et remplir l'éprouvette ; on rejette les premières portions qui sont mêlées d'air, mais on conserve les suivantes ; on constate ainsi la production d'un gaz combustible que l'on peut enflammer. Si maintenant, après refroidissement, on vient à briser la panse de la cornue, on la trouve remplie d'une matière agglomérée en boule, c'est donc que les petits morceaux de charbon se sont soudés les uns aux autres. L'expérience montre qu'une houille quelconque, portée même seulement à la température de 350° à 400°, subit un ramollissement dont le degré varie d'un charbon à l'autre et qui est le facteur essentiel de la formation du coke ; car il permet en effet aux parcelles de carbone, même très menues,

de s'agréger en gros blocs utilisables dans les foyers, tandis que ceux-ci auraient été obstrués par les poussières. Ce fait du ramollissement et de l'agglomération conduit à supposer l'existence dans la houille d'un composé encore inconnu ayant la propriété d'éprouver une fusion pâteuse vers 350°. La houille est douée, en outre, d'une *oxydabilité* très marquée qui se manifeste même dès la température ordinaire, par une absorption d'oxygène équivalente à une véritable *combustion lente* et qui nuit au pouvoir du gaz éclairant ainsi qu'au degré d'agglomération du coke ; il est probable, par suite, que l'absorption d'oxygène est due à ce composé particulier très fusible dont le ramollissement est cause de l'agglomération du coke. Cette oxydabilité de la houille explique les *incendies spontanés* qui se déclarent souvent sans cause apparente dans les lieux où se trouvent déposés des amas de charbon de terre ; mines, chantiers de vente, soutes des navires, etc. Pour reconnaître simplement si une houille est *fraîche* ou oxydée, il suffit de l'introduire dans une solution bouillante de potasse : si la houille est fraîche, il ne se produit aucune coloration, tandis que, si elle est oxydée, la liqueur brunit et même noircit.

En moyenne, 100 kilogrammes de charbon donnent environ une trentaine de mètres cubes de gaz, 50 à 70 kilogrammes de coke, plus du goudron et des vapeurs aqueuses ammoniacales.

Tous les charbons ne conviennent pas également bien à la fabrication d'un bon gaz d'éclairage, doué d'un pouvoir éclairant et calorifique suffisant et donnant en outre un résidu de coke de qualité marchande. Dans la pratique, on emploie généralement un mélange composé judicieusement de diverses espèces de charbons, maigre, gras et anglais (*cannel-coal* et *boghead* écossais augmentant le pouvoir éclairant) ; ce mélange est porté vers la température de 1100° environ, en vase clos, c'est-à-dire à l'abri de l'air, dans des cornues en terre réfractaire. On n'obtient ainsi que le gaz brut, inutilisable tel qu'il se présente, pour les raisons suivantes : 1° il est malodorant par suite de la présence de l'hydrogène sulfuré (odeur des œufs pourris), du sulfure d'ammonium, de l'ammoniaque et de ses

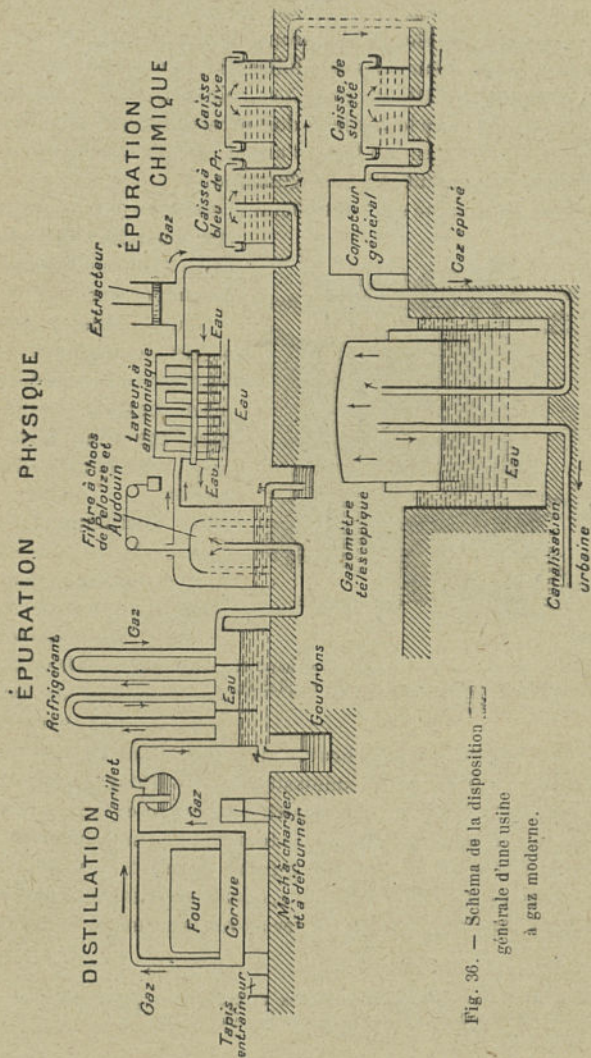


Fig. 36. — Schéma de la disposition générale d'une usine à gaz moderne.



composés cyanés<sup>1</sup>, etc. : 2<sup>o</sup> il est fortement chargé de vapeurs facilement condensables, de goudrons, de naphthaline, etc., qui obstrueraient rapidement les conduites ; 3<sup>o</sup> enfin il contient trop de gaz carbonique (CO<sup>2</sup>) qui nuit à sa combustibilité. Il résulte de ce qui précède que le gaz brut doit nécessairement subir une *épuration* ; celle-ci est réalisée d'abord par des moyens physiques, puis finalement par voie chimique.

La figure 36 indique schématiquement la disposition générale des appareils dans une usine moderne de quelque importance.

Nous allons passer successivement en revue les diverses phases de la fabrication : distillation, épuration physique, épuration chimique.

#### A) Distillation. —

Elle s'effectuait autrefois, et encore aujourd'hui dans les petites usines, dans des cornues en terre réfractaire de 3 mètres de longueur que l'on chargeait

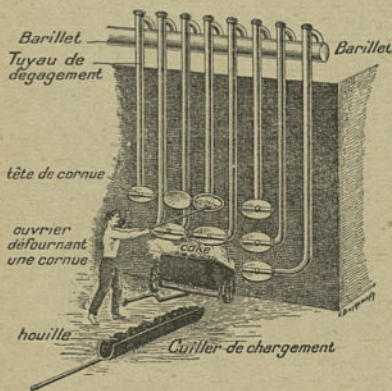


Fig. 37. — Ancien procédé de défournement et de chargement d'une cornue à gaz ; emploi du crochet et de la cuiller.

à la main toutes les quatre heures au moyen d'une longue pelle en fer dite *cuiller*. On introduisait ainsi 150 kilogrammes de houille environ dans la cornue portée au rouge et l'on fermait celle-ci au moyen d'une plaque de fonte mobile sur charnière à la façon d'une porte ; ce chargement durait 2 minutes ; le déchargement, encore plus pénible, durait davantage et s'opérait au moyen d'un long crochet en fer au moyen duquel l'ouvrier,

1. Les composés sulfurés ammoniacaux et cyanogénés proviennent de ce que la houille contient de la pyrite de fer FeS<sup>2</sup>, ainsi que des matières organiques azotées.

presque nu, faisait tomber le coke incandescent dans une sorte de charrette en fer (voir fig. 37) : celle-ci était ensuite déversée au dehors, dans une cour, et son contenu arrosé d'eau de façon à éteindre le coke

Tout ce spectacle un peu féerique, surtout la nuit, de lueurs et de vapeurs, de panaches de flammes, tend à disparaître

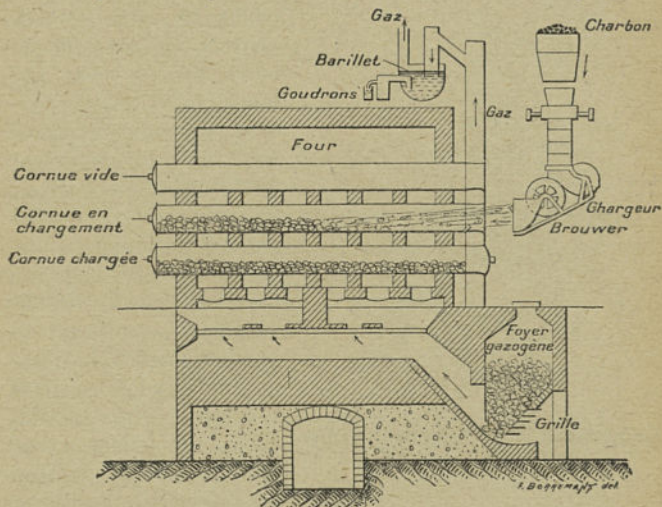


Fig. 38. — Four à cornues horizontales de 6 mètres de longueur, avec chargeur Brouwer.

aujourd'hui par suite de divers perfectionnements apportés à la fabrication.

Dans les grandes usines modernes, au Landy, par exemple, le charbon, après broyage au moyen d'un cylindre armé de dents qui l'amène à la grosseur convenable est élevé, au moyen d'une chaîne à godets, dans les *tours à charbon* situées au sommet de l'usine ; de là, le charbon descend automatiquement dans une machine dite chargeuse qui projette d'elle-même dans chaque cornue et en quelques secondes seulement, 640 kilogrammes de houille. Les cornues, disposées par batterie de

sept dans chaque four, sont horizontales et *sans fond* ; elles ont 6 mètres de longueur et sont munies de deux tuyaux de dégagement, un à chaque extrémité. Le chauffage dure huit heures (au lieu de quatre jadis) et est produit par la combustion de l'oxyde de carbone engendré dans un gazogène Siemens au coke avec récupérateurs de chaleur dans le genre de ceux qui sont

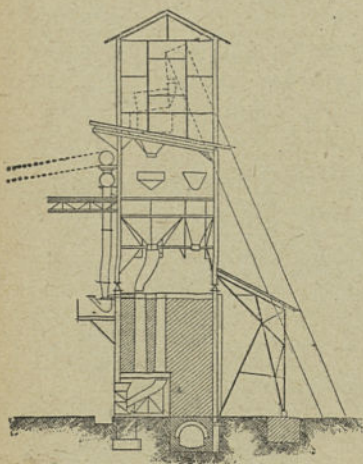


Fig. 39. — Four vertical de Bueb.

appliqués pour le traitement du minerai de fer au haut fourneau (voir plus loin).  
La machine *chargeuse* roule sur des rails et peut ainsi venir se placer devant l'orifice antérieur de chaque cornue. Lorsque la distillation est terminée, une deuxième machine dite *défourneuse* avance à son tour, refoule le coke incandescent, l'expulse par l'orifice postérieur et le fait tomber sur un tapis métallique mobile noyé dans un courant d'eau ; le coke est ainsi éteint et emporté rapidement, tandis que les vapeurs sont immédiatement aspirées par une cheminée. La figure 38 représente un four à cornues horizontales servi au moyen du chargeur à projection et du déchargeur à repoussoir Brouwer ou Sautter-Harlé. Avant de recharger la cornue, on a soin d'en débarrasser les parois du *charbon des cornues*, matière qui tend à s'y déposer sous forme d'une couche dense et compacte d'aspect graphitoïde ; à cet effet, aussitôt après le déchargement, un ventilateur, amené devant l'orifice, insuffle dans la cornue incandescente un jet d'air qui brûle le graphite.

On se rend compte combien ce chargement et ce déchargement mécaniques, rapides, qui tendent à remplacer un travail



humain long et harassant, réalisent un grand progrès sous le double rapport philanthropique et économique. En effet cette manutention mécanique, permettant un accroissement notable de la charge des cornues, procure une double économie : l'une, sur la *main d'œuvre*, par suite de la réduction du nombre des chargements et déchargements : l'autre, sur le *rendement* en gaz provenant de ce que la distillation dans des cornues bien remplies peut être poussée à une température plus élevée sans nuire à la qualité des goudrons et du gaz.

Mais, du moment que l'on entre dans cet ordre d'idées, on conçoit que la disposition horizontale n'apparaît pas *a priori* comme le terme ultime du progrès par suite de la nécessité qu'elle entraîne d'un outillage mécanique complexe, assez délicat, en tout cas coûteux à établir et à entretenir. N'est-il pas plus simple de se passer de

tout ce mécanisme et de demander à la *pesanteur* elle-même de se charger gratuitement du soin de remplir les cornues et de les vider ? C'est ce qui a conduit à imaginer les cornues *inclinaées* et même *verticales* ; aussi en Allemagne et en Autriche a-t-on construit un grand nombre de fours, tels que ceux du docteur Bueb à cornues verticales (fig. 39), qui reçoivent à leur partie supérieure une charge de houille ; celle-ci descend progressivement pendant la distillation, tandis que le coke est extrait par une ouverture inférieure (gueulard de déchargement) et est immédiatement reçu sur un entraîneur-extincteur.

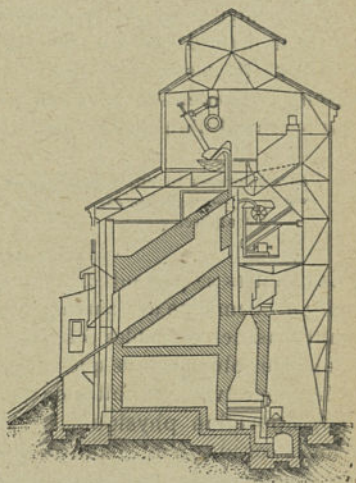


Fig. 40. — Four à chambre de Munich.

On a même perfectionné encore l'extraction en remplaçant la marche discontinue par une continue.

Enfin il était logique d'élargir encore le principe de la distillation en grandes masses en substituant aux cornues des capacités encore plus considérables, c'est-à-dire de véritables *chambres* (fig. 40) pouvant contenir jusqu'à 3 000 kilogrammes de houille et soumises à une température de 1 300° pendant une durée de vingt-quatre heures sans discontinuer, ce qui simplifie encore la main d'œuvre et permet même de supprimer la plus grande partie des *équipes de nuit*. Les chiffres suivants se rapportent au rendement de la main d'œuvre en prenant comme base le travail d'un homme pendant huit heures :

Fours à cornues inclinées, rendement	1 600 mètres cubes de gaz.		
— — verticales,	— 7 000	—	—
— à chambres,	— 9 000	—	—

Ces chiffres se passent de commentaires. On a même construit en Allemagne des *chambres* encore plus vastes, se rapprochant ainsi des véritables *fours à coke* métallurgique (Voir plus loin), mais plus parfaits que ceux-ci au point de vue de l'étanchéité pour éviter les fuites de gaz.

B) **Épuration physique.** — Le gaz brut, aussitôt formé dans la cornue, monte dans un tube vertical qui le conduit dans un grand cylindre horizontal à moitié rempli d'eau et appelé *barillet*; de là il circule dans les nombreux conduits aériens d'un réfrigérant encore connu sous le nom de *jeu d'orgues* à cause de son aspect extérieur (Voir fig. générale 36); sous l'influence de l'eau et du refroidissement, le gaz abandonne dans ces divers appareils une grande partie de ses impuretés goudroneuses et de ses sels ammoniacaux : les goudrons sont insolubles et se déposent à la partie inférieure des appareils, les sels ammoniacaux se dissolvent dans l'eau. Malgré son passage à travers le barillet et le jeu d'orgues, le gaz contient encore une quantité assez notable de goudrons et d'ammoniaque. Les goudrons étaient éliminés autrefois par l'antique *tour à coke* humide qui tend à être remplacée maintenant par le filtre épurateur à *chocs* de Pelouze et Audouin : ce procédé consiste à

faire passer le gaz, animé de sa vitesse propre, à travers un grand nombre de petits trous pratiqués dans une plaque de tôle ; à un millimètre environ de celle-ci s'en trouve une seconde identique disposée de telle façon que ses pleins correspondent aux trous de la première ; on conçoit que, dans ces conditions, une petite gouttelette de goudron, entraînée par le gaz et fran-

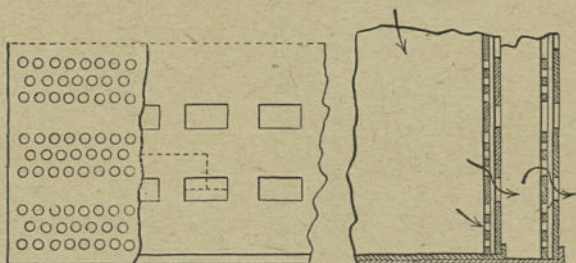


Fig. 41. — Épurateurs à chocs, de Pelouze et Audoin ; disposition des tôles perforées.

chissant un orifice viendra s'écraser sur le plein qui est en face et coulera vers le bas, tandis que le gaz continuera en serpentant (fig. 41).

Le gaz traverse ensuite le *laveur* à ammoniaque (fig. 42), grand tambour horizontal divisé en compartiments et contenant de l'eau dans laquelle viennent battre des palettes minces et perforées entraînées par la rotation d'un arbre disposé suivant l'axe du cylindre. Ces palettes couvertes d'une pellicule liquide et aussi les nombreux embruns soulevés par leur mouvement augmentent la surface d'action dissolvante de l'eau sur l'ammoniaque ; ce gaz se trouve alors complètement éliminé, ou à peu près, ainsi qu'une partie des acides sulfhydrique, carbonique, etc.

L'eau entre par une extrémité, parcourt les compartiments dans un sens opposé à celui du gaz et ressort par l'autre extrémité après s'être chargée de sels ammoniacaux que l'on extrait ensuite ou que l'on vend en vue de cette extraction.

Le gaz aura encore à parcourir d'autres appareils purificateurs dans lesquels il rencontrera une résistance considérable,



qu'il ne sera capable de surmonter que si on lui communique un excès de pression suffisant sur l'atmosphère. Mais, d'autre part, il y a intérêt à ce que la pression du gaz dans les cornues soit à peine supérieure à celle de l'atmosphère ambiante, sinon

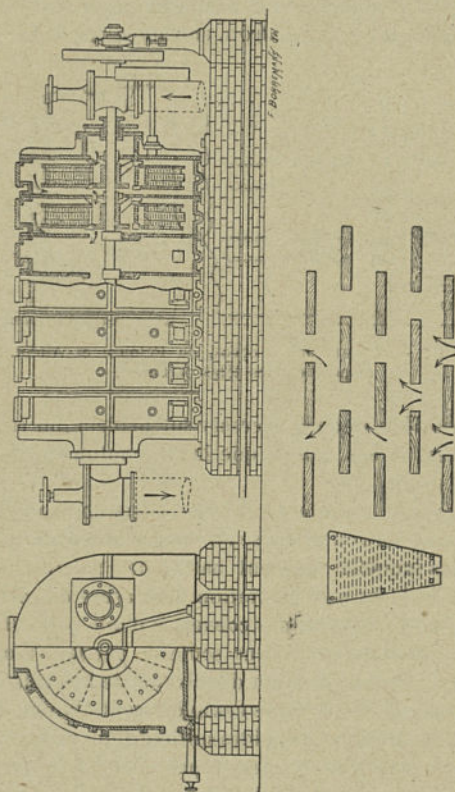


Fig. 42. — Épuration du gaz d'éclairage; laveur à ammoniac.

le gaz s'échapperait en brûlant par les fuites inévitables, d'où une perte notable. Il est donc de toute nécessité d'installer un dispositif qui réalise une faible pression du côté *cornues* et une pression relativement plus forte du côté *purification* et *canali-*

sation : ce rôle incombe à un système de pompes aspirantes d'un côté, foulantes de l'autre, qu'on appelle les *extracteurs* ou *exhausteurs* et qui, non seulement produisent l'effet ci-dessus indiqué, mais encore maintiennent la pression constante dans les deux sens par le jeu d'un régulateur.

C) **Épuration chimique.** — Il ne reste plus maintenant qu'à dépouiller le gaz de la plus grande partie de son hydrogène sulfuré (on en laisse une très légère quantité comme avertisseur de fuites), de son gaz carbonique et de ses composés cyanogénés. L'absorption de ces impuretés s'effectue en faisant circuler le gaz à travers le mélange poreux de *Laming*, répandu en couches de faible épaisseur dans les compartiments à claire-voie d'une série de caisses à fermeture hydraulique (Voir fig. générale 36). Ce mélange est obtenu en ajoutant de la chaux à une solution de *vitriol vert* (ou sulfate ferreux  $SO^4Fe$ ) et additionnant de sciure de bois qui donnera la porosité nécessaire afin que le gaz puisse circuler au travers ; avant de mettre ce mélange en service, on l'expose assez longtemps à l'action de l'oxygène de l'air ; il passe ainsi du vert au rouge parce que l'oxyde ferreux vert, mis en liberté par l'action de la chaux sur le vitriol vert, est oxydé et transformé en hydrate ferrique rouge. La matière est alors prête à servir : elle arrêtera l'hydrogène sulfuré par son oxyde ferrique (d'où formation de sulfure de fer noir) et le gaz carbonique par sa chaux ; elle finit, au bout d'un certain temps, par perdre son pouvoir purificateur, mais on peut le lui restituer plusieurs fois en la *régénérant*, c'est-à-dire en l'abandonnant à l'air afin d'oxyder le sulfure de fer qui repassera à l'état de sulfate, puis d'oxyde. Les composés cyanogénés sont aussi arrêtés ; mais, comme ils ont maintenant une grande valeur, surtout depuis l'emploi du cyanure de potassium dans l'extraction de l'or au Transvaal, on cherche à séparer la fixation du cyanogène de celle des autres impuretés ; on procède donc de la manière suivante au moyen de trois cuves :

1<sup>o</sup> Une première cuve où se trouve le mélange de *Laming* *épuisé* ; il y a fixation des composés cyanogénés sur la chaux en excès et formation de ferrocyanure de calcium et même de bleu de Prusse, car la masse devient bleuâtre ; cette réaction

aurait été empêchée par la présence de l'ammoniaque, mais nous avons vu que celle-ci est déjà arrêtée par le laveur à palettes; ce laveur n'existait pas autrefois de sorte que l'ammoniaque s'absorbait dans cette première cuve d'épuration, mais on n'y obtenait pas le bleu de Prusse;

2<sup>o</sup> Vient ensuite une *cuve active* où s'effectue la fixation et l'absorption de l'hydrogène sulfuré et du gaz carbonique, comme cela a été dit antérieurement;

3<sup>o</sup> Enfin on place en dernier lieu une *cuve de sûreté*, en cas de mauvais fonctionnement accidentel de la précédente.

Lorsque le mélange de Laming a été revivifié plusieurs fois et qu'il s'est chargé finalement d'une quantité importante de cyanures dans la première cuve, on le vend aux industriels qui entreprennent la fabrication du cyanure de potassium, des ferrocyanures et du bleu de Prusse.

D) Le gaz, prêt enfin à être consommé, est dirigé à travers un grand *compteur*, puis dans de vastes *gazomètres* à fermeture hydraulique; de là il part ensuite pour être distribué par la canalisation urbaine jusqu'aux appareils d'utilisation, sous une pression de dix à douze centimètres d'eau en excès sur la pression atmosphérique ambiante. Certaines localités d'Allemagne livrent du gaz jusqu'à 50 et même 60 kilomètres du centre de production au moyen d'un vaste réseau de canalisations souterraines.

E) Pour terminer, voici la composition moyenne du gaz d'éclairage et des produits *dérivés* :

Gaz d'éclairage.	{	Hydrogène. . . . .	50 0/0 environ	} peu éclairants.	
		Méthane (CH <sup>4</sup> ) . . . .	35 —		
		Autres hydrocarbures . .	5 —		éclairants.
		Oxyde de carbone . . . .	7 —		toxique
		Gaz carbonique, etc. . . .	3 —	—	
Eaux d'épuration . . . . .	}	Sels ammoniacaux.			
Goudrons . . . . .	{	Hydrocarbures, notamment ceux de la série du <i>benzène</i> .			
		Phénols et analogues.			
		Corps basiques : aniline, etc.			



**Coke.** — Le coke est, comme on l'a déjà dit, le résidu que laisse la houille après le départ du gaz d'éclairage. On connaît son emploi domestique comme moyen de chauffage par combustion directe dans les poêles et les cheminées. Il sert aussi à alimenter les *gazogènes* et les hauts fourneaux qui absorbent des quantités considérables d'un coke particulier, dit coke *métallurgique*, répondant aux besoins de l'extraction du fer, notamment, parce qu'il n'obstrue pas l'appareil et qu'il contient bien moins de soufre que la houille.

La fabrication du coke industriel destiné aux gazogènes et aux hauts fourneaux s'effectue dans des usines spéciales parfois appelées *cokeries*. La houille contient, outre le carbone et les gaz, une certaine quantité de matières minérales provenant de la présence des schistes ou silicates d'alumine, ces substances par elles-mêmes, ne fondraient qu'à une température élevée voisine de 1800°, mais, mêlées à d'autres corps, tels que l'oxyde de fer ou le carbonate de calcium, elles deviennent beaucoup plus fusibles en formant dès 1 100°-1 200°, une scorie pâteuse dite *mâchefer* qui obstrue les grilles des foyers et arrête leur fonctionnement. Il est donc naturel de rechercher les combustibles ne donnant lieu qu'à la production de cendres peu fusibles; c'est une nécessité pour les foyers de locomotives rapides, les torpilleurs, les fours à porcelaine, etc., et on est même obligé parfois d'importer dans ce but des houilles anglaises à cendres peu fusibles. Si, dans un gazogène, on veut, en vue d'élever la température, forcer la marche et la consommation en combustible au delà de 50 kilogrammes par mètre carré et par heure, la production de mâchefer pâteux devient tellement grande que le tirage du gazogène s'arrête, l'appareil est comme bloqué.

Ce qui précède suffit pour faire comprendre l'utilité, la nécessité même de la fabrication du coke industriel qui a, par suite, un but multiple : éliminer les principes trop volatils susceptibles de se condenser ensuite et d'encrasser les appareils, enlever au combustible la propriété de devenir pâteux et d'empêcher alors la circulation de l'air injecté dans les hauts fourneaux, enfin faire disparaître une partie notable du soufre contenu dans la houille à l'état de pyrite, celle-ci éprouvant, dans

la transformation en coke, une combustion qui chasse le soufre à l'état de gaz sulfureux. La fabrication s'effectue dans les *fours à coke* vers 860-900° et la durée de cuisson dure deux à quatre jours; le chauffage des fours se fait économiquement par la combustion des gaz dégagés. Un perfectionnement notable a consisté dans l'adjonction d'*appareils condensateurs* pour les goudrons et l'ammoniaque, et de machines *défourneuses* et *chargeuses* analogues à celles décrites à propos du gaz d'éclairage.

La marine et les chemins de fer emploient aussi des *agglomérés* formés par le mélange de poussier de charbon et de *brai*, résidu de la distillation des goudrons de houille et de pétrole; le tout est chauffé jusqu'à fusion pâteuse, puis coulé dans des moules et aggloméré par pression.

**Charbon de bois.** — Comme son nom l'indique, c'est le résidu de la distillation du bois en vase clos, donc à l'abri de l'air. Cette pyrogénéation laisse dégager des gaz et des vapeurs contenant principalement : 1° des gaz combustibles peu condensables; 2° des vapeurs d'*alcool méthylique* (esprit de bois, alcool à brûler), d'*acide acétique*, d'*acétone* et d'eau, facilement condensables en un liquide noirâtre appelé *acide pyroli-gneux brut*; 3° des *goudrons*.

Le procédé de distillation diffère selon que l'on se propose d'obtenir uniquement le charbon de bois en laissant perdre les produits volatils, ou bien que l'on veut recueillir ceux-ci. Dans le premier cas, on opère économiquement par le procédé des *meules* en forêt, dans le second on distille dans des cornues en fer munies de tubes à dégagement et à condensation.

1° Procédé des *meules*. — Sur le centre d'une aire plane de plusieurs mètres de diamètre, on commence par dresser verticalement une sorte de cheminée constituée par quelques perches destinées à maintenir un orifice de sortie au gaz. Contre et tout autour de cette cheminée, on dispose les bûches de bois en plusieurs couches superposées, soit verticalement quoique un peu inclinées (meule verticale), soit horizontalement et en rayonnant (meule horizontale) (voir fig. 43). On recouvre le tout de terre et d'herbes de façon à constituer un vase clos à



peu près étanche, sauf un certain nombre d'ouvertures appelées *évents* ménagés régulièrement à divers niveaux successifs. On jette par l'ouverture supérieure de la cheminée quelques branches enflammées de façon à amorcer la combustion et on ferme tous les évents sauf ceux de la partie inférieure ; il se dégage une épaisse fumée qui s'éclaircit peu à peu ; lorsque celle-ci est

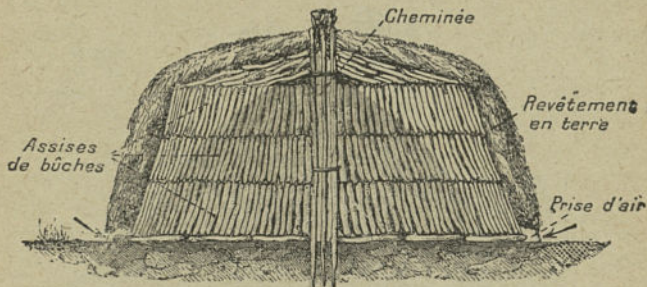


Fig. 43. — Fabrication du charbon de bois ; disposition d'une meule.

devenue transparente, bleuâtre, on ferme la cheminée et on ouvre les évents immédiatement voisins jusqu'à réobtention par ceux-ci d'une fumée claire ; on les bouche alors à leur tour et on ouvre ceux de la rangée au-dessous, et ainsi de suite jusqu'en bas successivement. Puis on laisse refroidir, on démeule et on effectue le triage du charbon en diverses grosseurs, tout en éliminant les *fumerons*, ou morceaux de bois incomplètement carbonisés, dont la combustion est fuligineuse. Une variante du procédé précédent est la carbonisation en *fours* ; ceux-ci ne diffèrent des meules qu'en ce que le revêtement ou *chemise* au lieu d'être en terre et temporaire est en maçonnerie fixe.

Dans certains pays, en Norvège et en Russie notamment, où le bois est abondant et bon marché, on effectue la carbonisation surtout en vue de la production assez rémunératrice du *goudron* de bois. Les meules sont alors disposées de façon à recueillir le goudron qui s'écoule par un orifice placé au centre de l'aire (voir fig. 44) ; mais le rendement en charbon s'en trouve consi-



dérablement diminué, car l'opération dure trois à quatre semaines au lieu de trois à quatre jours en marche ordinaire.

Enfin lorsque l'on veut recueillir les produits volatils et condensables, qui sont nécessairement perdus par le procédé des meules, on opère alors par celui des *cylindres*, sortes de chaudières en tôle de fer dans lesquelles on entasse le bois et d'où



Fig. 44. — Meule russe en vue de la production du goudron de bois.

part un tuyau de dégagement qui se rend dans un réfrigérant ou système de tubes refroidis extérieurement par de l'eau renouvelée (voir fig. 45). Les goudrons, peu volatils, se condensent d'abord ; les vapeurs méthyliques et acétiques se liquéfient ensuite et tous ces produits liquides viennent se réunir dans les baquets H et H' où les goudrons gagnent le fond, tandis que le *pyroligneux brut* surnage. Quant aux gaz combustibles incoercibles dans les conditions de l'expérience, ils font retour au foyer par le tube h et, en y brûlant, permettent d'économiser le combustible dont on n'a qu'à mettre une charge au début, pour amorcer le dégagement. Une fois la distillation terminée, le charbon de bois incandescent est mis à refroidir dans un *étouffoir*, à l'abri de l'air et on recharge l'appareil avec du nouveau bois.

Le *pyroligneux brut* qui contient environ 88 pour 100 d'eau, 10 pour 100 d'acide acétique, 1 pour 100 d'alcool

méthyllique et 0,4 pour 100 d'acétone est traité en vue de l'extraction de ces divers produits (*vinaigre de bois, alcool à brûler, etc.*).

L'inflammabilité du charbon de bois est d'autant plus facile que la carbonisation a été faite à une plus basse température :

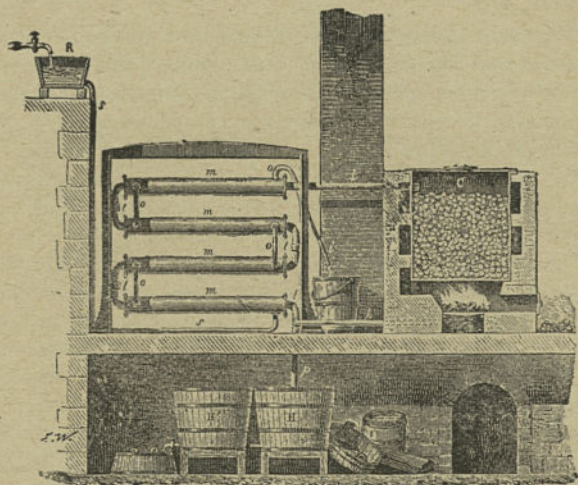


Fig. 45. — Appareil pour la distillation du bois en vase clos.

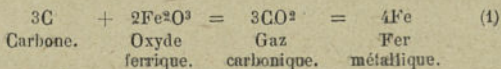
la matière obtenue est alors très poreuse, de couleur rousse, absorbe avec facilité les gaz et les matières putrides des eaux stagnantes et est éminemment propre à la fabrication de la poudre noire. Tout au contraire, le charbon préparé à très haute température est dur, compact, sonore et difficilement combustible.

### III. — OBTENTION DU FER ET DES DÉRIVÉS : FONTES ET AGIERS

#### Fabrication de la fonte de fer.

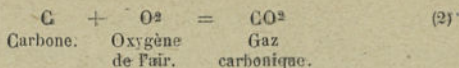
**Principes généraux.** — L'extraction du fer et de ses dérivés repose sur un principe fort simple si l'on se borne à considérer seulement les faits essentiels. Prenons par exemple comme minerai un *oxyde*, donc une combinaison du *fer* avec l'*oxygène*; il s'agit d'enlever celui-ci afin de mettre le métal en liberté: or le *carbone* (charbon) est précisément très avide d'*oxygène* comme en témoigne sa combustion vive dans l'air, laquelle n'est pas autre chose que l'union de ces deux éléments avec dégagement de chaleur et de lumière; en outre le carbone est encore capable de brûler aux dépens de l'*oxygène combiné*, de celui qui est allié au fer, à condition qu'on réalise une température suffisamment élevée. C'est cette importante propriété que l'on qualifie en chimie sous le nom de *pouvoir réducteur* du carbone et la réaction elle-même prend le nom de *réduction*.

Ainsi donc le carbone est apte à s'emparer de l'*oxygène* du minerai en formant du gaz carbonique ( $\text{CO}^2$ ) qui se dégage, tandis que le fer est rendu libre à l'état métallique. On opère dans un four vertical de vastes dimensions appelé *haut fourneau* et la réaction pourrait se représenter par l'équation chimique suivante:

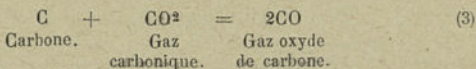


Mais cette réaction n'est pas seule; elle va même passer au second plan, derrière d'autres qui vont inévitablement se produire. Tout d'abord l'incandescence nécessaire du charbon ne peut être obtenue et entretenue que par l'arrivée d'une grande quantité d'air qui en provoque la combustion vive, d'où une production préalable de gaz carbonique selon la réaction:

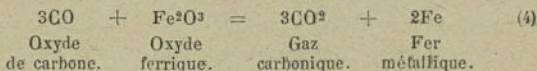




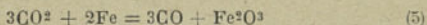
Ce gaz lui-même, au contact d'un excès de carbone rouge, se trouve réduit et ramené à l'état de gaz oxyde de carbone (CO), ce qu'on écrit :



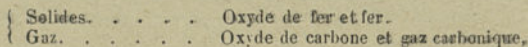
et c'est ce *dernier gaz*, doué de propriétés réductrices énergiques, qui va alors jouer le rôle principal dans l'opération métallurgique, selon la réaction :



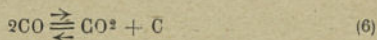
Mais il s'en faut encore de beaucoup que tout se passe dans le haut fourneau avec cette simplicité relative. Il est rare en effet qu'à haute température une réaction chimique soit entière ou complète et il arrive plus généralement qu'elle est accompagnée de l'apparition d'une autre réaction de tendance opposée qui vient en quelque sorte freiner ou limiter la première. Ainsi nous venons de voir, d'après (4), que l'oxyde de carbone peut réduire l'oxyde ferrique ; nous aurons donc en présence du fer métallique libre et du gaz carbonique, or l'expérience montre que ce dernier corps étant mis en présence d'un morceau de fer chaud peut réoxyder partiellement celui-ci et donner lieu à la réaction :



qui est exactement l'inverse de la réaction (4). En fait ces deux phénomènes (4) et (5) se limitent réciproquement et empêchent que l'un ou l'autre puisse se réaliser totalement. Ainsi la *réduction* exprimée par l'équation (4) s'arrête d'elle-même lorsque la quantité de gaz carbonique atteint une proportion déterminée et fait naître une tendance à la *réoxydation* du fer annihilant celle de l'oxyde de carbone ; on a alors le système complexe suivant de corps en présence :



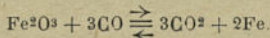
et l'équilibre entre les deux tendances antagonistes correspond à une proportion relative déterminée  $\frac{CO}{CO^2}$  des constituants gazeux. Ceci explique pourquoi il subsiste finalement une quantité notable d'oxyde de carbone dans le mélange gazeux qui s'échappe du haut fourneau. D'ailleurs, dans les régions supérieures de celui-ci où la température n'est pas très élevée, il se produit encore la réaction réversible<sup>1</sup>:



surtout en présence du fer ou de ses oxydes qui agissent ainsi simplement par leur présence, c'est-à-dire comme *catalyseurs*<sup>2</sup>. Ce carbone libéré à l'état de fine poussière accompagne ensuite le minerai dans sa descente et concourt à la réduction ultérieure. Cette imprégnation du minerai par le noir de fumée, vers la température de 400° à 500°, a été signalée pour la première fois par un métallurgiste anglais Sir Lothian Bell et est cause d'une obstruction partielle du fourneau, ce qui nécessite un soufflage énergique de l'air avec une suppression de une atmosphère environ.

En résumé, les réactions fondamentales dans cet appareil sont les suivantes :

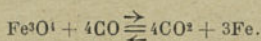
- |   |   |
|---|---|
| 1° Combustion vive du carbone $C + O^2 = CO^2$ .  | } à la partie inférieure du haut fourneau.                        |
| 2° Réduction partielle du gaz carbonique $CO^2 + C = 2CO$ .   |   |
| 3° Réduction de l'oxyde de fer par l'oxyde de carbone (réaction limitée ne pouvant être complète pour le fer qu'en présence d'un excès d'oxyde de carbone). | } dans la moitié supérieure du haut fourneau (zone de réduction). |



1. Une réaction *réversible* est un phénomène chimique qui peut se produire dans deux sens opposés et qui aboutit à l'équilibre de deux tendances antagonistes. Selon qu'on fera prédominer tant soit peu l'une des tendances sur l'autre, l'équilibre sera rompu dans le sens de la tendance prépondérante. L'état d'équilibre réversible s'indique en chimie par le signe  $\rightleftharpoons$  signifiant que l'égalité chimique peut être lue à volonté de gauche à droite ou de droite à gauche.

2. On appelle *catalyseur* en chimie un corps qui favorise ou accélère une réaction, mais qui se retrouve finalement inaltéré comme nature et quantité, ne semblant ainsi y participer que par son contact ou sa présence même en très faible masse.

Le cas de l'Oxyde dit « magnétique »  $\text{Fe}^3\text{O}^4$  se formulerait d'une manière analogue :



Enfin, si l'on avait affaire à du carbonate de fer  $\text{CO}^3\text{Fe}$ , celui-ci subissant sous l'action de la haute température une décomposition en gaz carbonique qui se dégage et en oxyde de fer, on serait ramené finalement à l'un des cas précédents.

Si maintenant nous prenons en considération que le minerai, malgré les soins dont il est l'objet, n'est pas pur et contient encore malgré tout une certaine quantité de *gangue* stérile, ou matières étrangères, telles que la silice, l'argile, le calcaire, etc., nous comprendrons que d'autres complications vont encore se présenter. Chaque parcelle de minerai donnera naissance à un petit grain de fer chimiquement libre sans doute, mais physiquement enrobé dans la gangue et séparé de ses voisins. Or, ce qu'on a besoin d'obtenir, c'est une masse cohérente compacte, un culot métallique en un mol, et non une série de grains isolés.

Autrefois on procédait d'une manière très simple, mais peu économique, par la méthode dite *catalane*, abandonnée maintenant, et qui consistait à chauffer le minerai avec un excès de charbon de bois dans une sorte de bas foyer où arrivait le vent d'une soufflerie. Dans ce foyer catalan la température n'était pas très élevée, elle était insuffisante pour fondre non seulement le fer mais encore la gangue généralement argileuse (silicate d'alumine) ; cependant il se produisait, relativement à celle-ci, une réaction accessoire favorable, savoir la combinaison d'une partie de l'argile avec l'oxyde ferrique du minerai, d'où la formation d'un silicate double d'aluminium et de fer beaucoup plus facilement fusible que chacun de ses constituants isolés et qui, à la température où l'on opérait, parvenait à la consistance pâteuse. On produisait ainsi un très bon fer mais empâté dans la scorie ; on rassemblait alors les particules métalliques isolées en remuant la masse avec un *ringard*, sorte de longue tige de fer, et l'on obtenait une masse ou *loupe* que l'on forgeait énergiquement en la frappant à coups redoublés sur une enclume, au moyen de *mails* puissants, pour en expulser la scorie spongieuse, tandis que le fer semi-pâteux s'agglomérait à lui-même en vertu d'une propriété bien connue qu'il partage avec quelques autres métaux.



Cette méthode est complètement délaissée actuellement car elle entraîne un déchet en fer considérable qui passe à l'état de silicate irréductible. Elle ne permet pas d'ailleurs d'obtenir d'une manière *continue* les masses métalliques considérables que réclame l'industrie moderne.

Comment alors délivrer le fer de la gangue qui l'emprisonne et éviter la perte par la scorie ? En faisant subir à la masse une véritable fluidification générale qui puisse permettre aux différentes matières de se superposer par ordre de densité dans le creuset du haut fourneau. Mais cette liquidité ne peut être obtenue que par une forte élévation de température et alors une nouvelle réaction chimique entre en jeu, savoir la *combinaison du fer avec le carbone*, c'est-à-dire la formation d'un carbure de fer dissous dans un excès de fer et connu sous le nom de *fonte*, parce que cette matière possède un point de fusion bien plus bas que le fer lui-même. Ainsi, finalement, on obtient, non pas le fer, mais la fonte sous ses deux variétés principales, la *grise* et la *blanche*.

Pour ne pas être obligé d'élever par trop la température, ce qui entraînerait une trop grande dépense de combustible, tout en empêchant la formation de silicate de fer, on ajoute au mélange de minerai et de charbon certaines matières appelées *fondants* qui ont la propriété de se combiner à la gangue pour former des composés complexes plus facilement fusibles dits *scories*. Si la gangue est argileuse, ce qui est le cas le plus général, on ajoute du calcaire (*castine* en langage métallurgique) ; si elle est calcaire, on ajoute de l'argile (*erbue*) ou de la silice. La scorie fondue, de densité plus faible que celle du fer, gagne la partie supérieure du creuset et prend le nom de *laitier*, tandis que le métal liquide (*fonte*) se réunit au fond en entraînant une certaine proportion de matières étrangères : du *silicium* principalement, un peu de soufre et de *phosphore* qui ont été libérés à haute température par l'action réductrice du carbone et l'oxyde de carbone.

On voit que le progrès accompli par le haut fourneau sur la méthode catalane se complique par l'apparition de réactions

secondaires et que, pour obtenir ensuite le fer pur, ductile, malléable, il faudra faire subir à la fonte une deuxième opération, une sorte de raffinage dite *affinage*.

Après avoir exposé les principes généraux de la méthode,

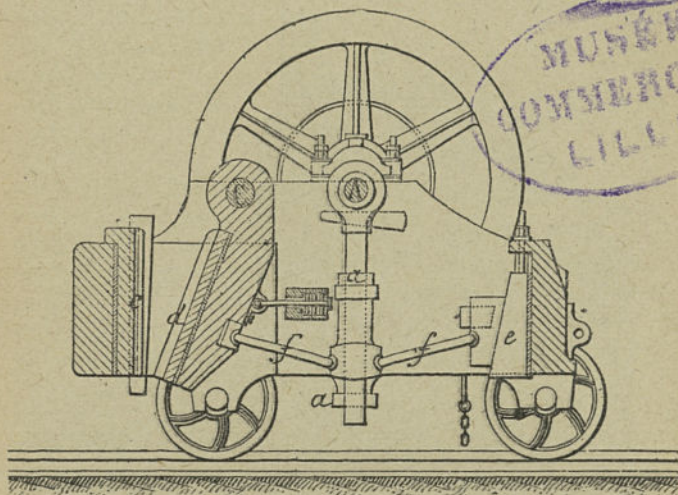


Fig. 46. — Broyeur Blake.

nous allons maintenant donner quelques explications sur les diverses opérations et sur le haut fourneau lui-même.

**Préparation préalable du minerai.** — Le minerai n'est pas employé tout venant, tel qu'il sort de la mine. Nous avons déjà indiqué antérieurement qu'il subit une sorte d'enrichissement préalable au moyen d'un triage à la main, en vue d'éliminer le stérile visible, complété par le concassage et le bocardage. Il existe de nombreux dispositifs. Le broyeur Blake (fig. 46) se compose essentiellement de deux joues très résistantes, l'une fixe *c*, l'autre mobile *d*, autour d'un axe *C* sous l'action d'un moteur puissant; par le rapprochement et l'éloignement alternatifs de la joue mobile, le minerai se trouve ainsi concassé à la grosseur voulue. Un *bocard* (fig. 47) con-

siste en un pilon et un mortier considérablement amplifiés : un fort madrier, dont l'extrémité inférieure est garnie d'une tête en fonte, est soulevé alternativement et retombe sur le minerai, le divise en menus fragments, tandis qu'un courant d'eau entraîne

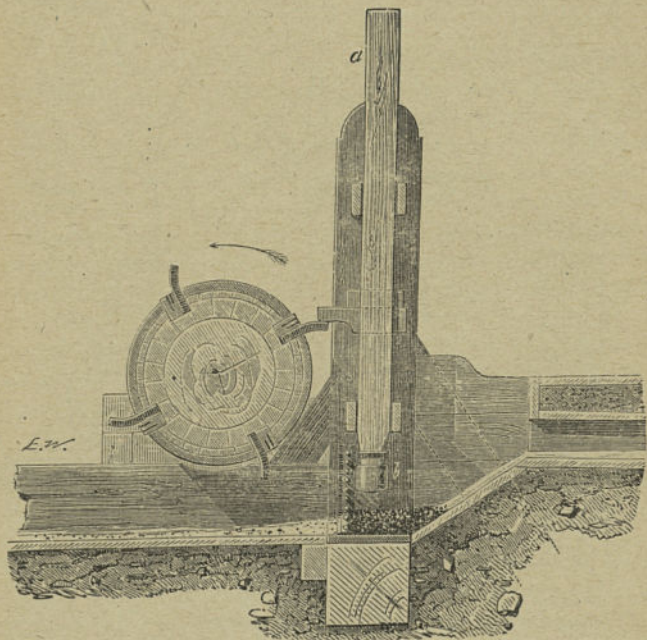


Fig. 47. — Bocardage des minerais.

les parties stériles plus légères ; le bocardage donne souvent une poudre trop fine.

Le minerai est ensuite *grillé* dans le but d'éliminer la majeure partie de son humidité et aussi son gaz carbonique s'il s'agit de sidérose ou carbonate de fer. Cette opération s'effectue dans un four vertical ouvert à la partie supérieure (*four à cuve*) et chauffé par le gaz d'un gazogène.

**Haut fourneau.** — Le haut fourneau est un immense



four à cuve construit en briques réfractaires très fortement maintenues par une garniture extérieure en fer (fig. 48).

L'ensemble se compose de deux troncs de cône réunis par leur plus grande base. Le cône supérieur constitue la *cuve*, le cône inférieur les *étalages*; le *ventre* est la partie la plus large; l'orifice supérieur de la cuve s'appelle le *gueulard*; il servait jadis, non seulement au chargement comme maintenant, mais aussi au dégagement dans l'atmosphère des gaz combustibles qui formaient un grand panache de flammes et qui se trouvaient ainsi inutilisés et perdus. Actuellement le gueulard est obturé par une sorte de couvercle mobile équilibré par un contrepoids et qui s'ouvre pour laisser tomber la charge de minerai, combustible et fondant, puis se referme aussitôt

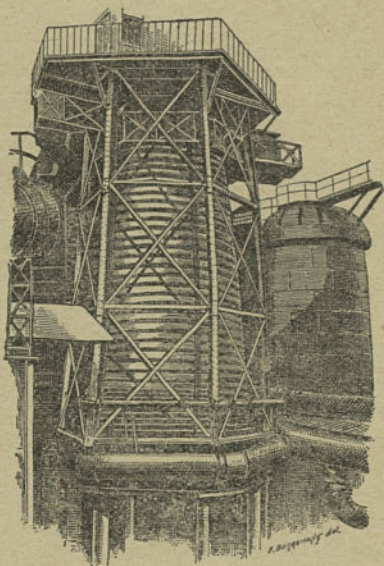


Fig. 48. — Haut fourneau construit récemment à Fumel (Lot-et-Garonne).

sous l'action du contrepoids et empêche ainsi les gaz de se perdre. Ceux-ci sont dirigés par de gros conduits dans divers appareils d'utilisation dont nous reparlerons plus loin. Ces conduits partent généralement dans une direction horizontale, donc perpendiculairement à l'axe vertical du haut fourneau, mais actuellement, en vue de diminuer le plus possible la résistance opposée au mouvement de sortie des gaz, on trouve plus avantageux de disposer le tuyau de dégagement verticalement et axialement (fig. 49).

La *zone de réduction* du minerai se trouve approximativement à mi-hauteur de la cuve ; la *zone de carburation* et de formation du laitier se trouve au niveau des *étalages*. En-dessous de ceux-ci vient une partie verticale plus étroite appelée *l'ouvrage* où viennent déboucher les buses des *tuyères* qui introduisent l'air nécessaire ; c'est dans cette région, véritable laboratoire de l'appareil, que l'on atteint la *zone de fusion* du

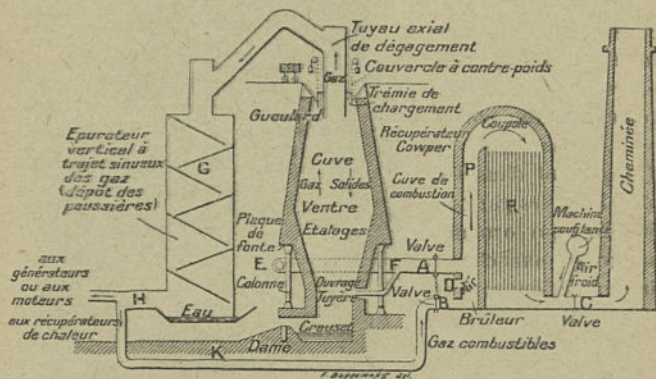


Fig. 49. — Disposition schématique générale d'un haut fourneau (tuyau axial) et de ses accessoires.

laitier et de la combustion du coke. Enfin, la partie inférieure se termine par le *creuset* dont le fond et les parois sont constitués par des matières très réfractaires et qui reçoit la fonte en fusion au fur et à mesure que celle-ci s'élabore, ainsi que le laitier ou scorie fondue plus légère qui surnage.

Un orifice, dit *trou de coulée*, est pratiqué à la partie inférieure d'une dalle plate appelée *dame* et formant paroi au creuset ; lorsque celui-ci est rempli, on enlève le lut d'argile qui fermait le trou de coulée et le métal fondu s'écoule dans des rigoles creusées *ad hoc* dans le sol de l'usine et s'y solidifie sous forme de demi-cylindres allongés appelés *gueuses* ou de lingots (*saumons*).

La hauteur totale du haut fourneau est variable selon les



établissements ; elle peut atteindre 20 à 25 mètres ; il en existe de plus élevés encore aux États-Unis, mais on a renoncé en Europe à de trop vastes dimensions pour lesquelles la nature de nos charbons ne s'adapte pas et qui entraînent des dangers d'effondrements intérieurs. Le diamètre ventral est d'environ 6 mètres et la capacité 400 mètres cubes. La cuve repose sur une épaisse plaque circulaire en fonte supportée par une série de colonnes en même matière, laissant entre elles un espace vide qui permet une circulation plus aisée que si l'on employait la maçonnerie pleine.

*Mise en train du haut fourneau.* — On remplit l'appareil de charbon et l'on allume par la partie inférieure, puis on fait arriver le vent de la soufflerie et bientôt tout l'intérieur devient incandescent ; au fur et à mesure que la charge s'affaisse, par suite de la combustion du charbon, on comble le vide en versant par le gueulard des doses mesurées de minerai, de charbon et de fondant ; le haut fourneau est alors en marche et celle-ci continuera sans arrêt pendant quinze mois et plus jusqu'à ce que la nécessité de réparations s'impose.

Le combustible employé a d'abord été à l'origine le charbon de bois, comme dans la méthode catalane ; puis on a essayé la houille, mais celle-ci contient généralement trop de soufre et a le défaut, si elle est grasse, de s'agglomérer et de caler toute la masse ou, si elle est maigre, de se diviser en menus qui obstruent les vides et empêchent la circulation des gaz ; c'est ce qui explique que l'on emploie actuellement le coke métallurgique, préparé soit dans des usines spéciales (cokeries), soit dans l'établissement même, avec récupération de chaleur et captation des goudrons et sels ammoniacaux. Le haut fourneau ne peut admettre qu'un coke très dur qui puisse résister sans s'écraser à la lourde charge qu'il supporte ; il ne doit contenir que le moins possible de soufre qui passerait dans le fer, sinon on ajoute un peu de minerai de manganèse afin d'obtenir une fonte peu sulfurée.

Pour produire une tonne de fonte, on compte en moyenne qu'il est nécessaire de verser au gueulard les doses suivantes :



{	2 200	kilogrammes	de minerai.
	900	—	de fondant.
	1 000	—	de coke.

Ces nombres n'ont rien d'absolu ; ils varient selon la nature et la composition du minerai et de la gangue déterminées préalablement d'une façon *précise* par les chimistes de l'usine. Afin de faire produire au haut fourneau des masses de fonte considérables, on augmente la pression de l'air soufflé, ce qui permet d'accroître la quantité de charbon consommé et de minerai traité. Pour donner une idée des progrès accomplis sous ce rapport, nous dirons qu'un haut fourneau français d'il y a soixante ans, et qui avait 8 à 10 mètres de hauteur, produisait approximativement 6 tonnes de fonte par vingt-quatre heures, tandis qu'un haut fourneau actuel de 20 à 25 mètres à tirage forcé fournit jusqu'à 700 tonnes.

**Utilisation des gaz du gueulard.** — Jadis, les gaz se dégageaient purement et simplement par le gueulard en formant un grand panache enflammé ; c'était d'un effet très pittoresque dans la nuit, mais détestable au point de vue économique, puisqu'on perdait ainsi le pouvoir calorifique de ces gaz évidemment combustibles. L'analyse chimique vient confirmer cette prévision et permet d'y déceler la présence d'une notable quantité d'oxyde de carbone.

Oxyde de carbone . . . . .	28	pour 100	{	combustibles.
Hydrogène . . . . .	2	—		
Gaz carbonique . . . . .	7	—		
Azote . . . . .	63	—		
Cyanogène, etc. . . . .	petites quantités.			

On utilise maintenant la puissance calorifique de ces gaz de plusieurs manières :

A) **Récupérateurs de chaleur.** — L'air injecté dans les tuyères était autrefois puisé directement dans l'atmosphère. On conçoit que l'arrivée continue de cet air froid tendait à occasionner dans l'ouvrage un abaissement de température qu'on n'évitait qu'au prix d'un supplément dans la consommation du charbon. Il était donc tout indiqué d'utiliser la puissance calori-

fique des gaz du gueulard à *réchauffer le vent des tuyères* ; c'est ce à quoi l'on arrive au moyen de dispositifs connus sous les noms de *récupérateurs* ou *réchauffeurs* ; il en existe de divers systèmes : Whitwell, Cowper, etc. ; en voici le principe commun : les gaz du haut fourneau, préalablement dépouillés de la plus grande partie de leurs poussières par passage à travers les sinuosités d'un épurateur, sont amenés dans un espace réfractaire P formant cuve de combustion (fig. 49), en même temps que de l'air arrive par un orifice inférieur D ; le mélange est allumé au point de rencontre (brûleur) et la combustion se complète dans la cuve P, puis les gaz chauds et incandescents circulent à travers une multitude de conduits en briques réfractaires R, qu'ils portent à une température très élevée, et enfin, s'échappent par la cheminée.

Le récupérateur étant maintenant incandescent, imaginons qu'on ferme les valves B C D et qu'on ouvre la valve A, la machine soufflante va aspirer l'air froid extérieur et le refouler dans les canaux R, puis en P en suivant un trajet inverse des gaz précédents ; cet air ainsi porté à 900° environ arrivera dans le gros conduit circulaire EF qui entoure la base du fourneau et, de là, aux tuyères (refroidies par une circulation d'eau dans leur enveloppe, afin d'éviter leur destruction rapide).

Mais on conçoit qu'avec un seul réchauffeur on n'obtiendrait qu'un bénéfice intermittent, puisqu'au bout d'un certain temps les briques se seraient refroidies ; il faut donc *au moins* deux de ces appareils, de telle façon que, pendant que l'un fonctionne à l'*air froid*, l'autre marche aux *gaz chauds* et lorsque le premier sera refroidi, le second aura eu le temps de redevenir chaud, et il suffira de renverser le jeu des valves pour intervertir les rôles des récupérateurs.

En réalité, la plupart des hauts fourneaux actuels sont accompagnés de quatre ou cinq appareils à air chaud. Le chauffage de l'air injecté constitue un des plus importants perfectionnements qui aient été apportés à la métallurgie du fer. On a préconisé et appliqué même, aux États-Unis, la dessiccation préalable de l'air insufflé en le faisant circuler dans des chambres frigorigènes où il se dépouille de son humidité sous forme



d'un dépôt de givre. L'avantage de ce procédé est discuté et n'est peut-être utile que pour certains hauts fourneaux américains où le réchauffage de l'air est moins élevé qu'en Europe.

B) **Générateurs et moteurs.** — Le réchauffage de l'air n'absorbe qu'une fraction des gaz du gueulard ; l'excédent est utilisé soit comme combustible sous le foyer des chaudières alimentant les machines à vapeur, soit encore mieux et plus avantageusement comme source d'énergie directe dans des *moteurs* à explosion analogues aux moteurs à gaz ordinaire ou à essence de pétrole. Ces machines ou ces moteurs sont nécessaires dans toute usine métallurgique pour actionner les pompes soufflantes, faire mouvoir les dynamos d'éclairage électrique, actionner les divers et nombreux appareils de levage, de transport, etc. En vue de cet usage, les gaz doivent être soigneusement épurés et lavés.

**Laitiers de haut fourneau.** — Les scories sont constituées principalement par des silicates de chaux, de magnésie, d'alumine, etc. Elles peuvent être d'aspect *vitreux* si elles renferment un excès de silice, ou *pierreux* s'il y a au contraire excès de chaux, auquel cas elles se délitent peu à peu d'elles-mêmes à l'air humide et constituent alors des laitiers *fusants*.

On utilise ces matières soit pour l'empierrement des routes, soit pour la fabrication de matériaux de construction : pavés, briques, mortiers, pouzzolanes... ; pour ce dernier usage, les scories de fonte grise conviennent plus spécialement : dans ce but, le laitier encore fluide est *étonné* en le faisant tomber dans l'eau froide, ce qui a pour effet de l'amener à l'état granuleux, puis on le sèche et pulvérise ; cet *étonnement* du laitier est indispensable pour lui faire acquérir l'hydraulicité.

On fabrique aussi une *laine de scorie* en envoyant un jet de vapeur d'eau sur le laitier s'écoulant en mince filet. Cette matière filamenteuse est très convenable pour servir d'*isolateur calorifuge*, c'est-à-dire de revêtement empêchant la déperdition de chaleur par la surface des conduites ou autres appareils divers.

Enfin certains laitiers, pas trop chargés en oxy-sulfure de cal-



cium, entrent dans la composition du verre grossier destiné à la fabrication des bouteilles colorées.

**Propriétés de la fonte.** — La fonte est ainsi appelée parce qu'elle fond à une température plus basse que le fer lui-même, environ 400° au-dessous : ceci provient de la présence de matières étrangères, selon un fait constant dans ses effets : *l'addition d'une substance à une autre abaisse la température de fusion de chacune d'elles.*

Il y a environ 2 à 5 pour 100 de *carbone* et approximativement autant de *silicium*, manganèse, phosphore réunis, plus enfin des traces de soufre et de divers autres éléments.

On obtient au haut fourneau deux variétés principales de fontes : la *blanche* et la *grise*, qui fondent respectivement : la première, à 1100° ou au-dessous ; la seconde, à 1200° ou au-dessus. Il existe de nombreuses variétés intermédiaires dites *truitées*.

La fonte grise se forme plutôt quand le haut fourneau fonctionne à haute température et elle est alors accompagnée d'une proportion de silicium d'autant plus forte que la température a été plus élevée. La fonte blanche se produit dans les conditions contraires. La rapidité du refroidissement influe aussi sur la nature du produit obtenu : une même fonte refroidie brusquement donnera la variété blanche, tandis qu'un abaissement lent de la température aboutirait à la fonte grise.

La nature chimique et les propriétés de ces deux espèces de fonte sont très différentes.

La fonte blanche est dure, cassante, impossible à limer ou à travailler et ne prend jamais, sous l'action de la chaleur, une fluidité assez parfaite pour se prêter au moulage ; aussi ne peut-elle être employée qu'à sa transformation ultérieure en fer doux ou en acier, d'où le nom de *fonte d'affinage* qu'on lui donne encore. L'analyse montre qu'elle contient son carbone combiné chimiquement au métal sous forme d'un composé répondant à la formule  $Fe^3C$  (*cémentite*) associé à un excès de fer.

La fonte grise, au contraire, est plus tendre, douce à limer, à tourner ou à forer et plus résistante au choc ; elle prend,

sous l'action de la chaleur, une fluidité parfaite qui permet de l'utiliser au moulage de pièces de toutes dimensions ; aussi lui donnera-t-on encore le nom de *fonte de moulage*. L'analyse montre qu'elle contient surtout son carbone à l'état *non combiné* chimiquement, sous forme de petites paillettes analogues au *graphite* qui lui donnent la couleur grise qu'on lui connaît ; le *silicium*, toujours présent en qualité appréciable, concourt aussi à produire le même effet.

D'une manière générale les diverses variétés de fonte ont sensiblement des propriétés chimiques peu différentes de celles du fer lui-même ; cependant elles sont moins facilement attaquables par les acides et ceci explique pourquoi, dans la fabrication de ces substances, par exemple dans celle de l'acide azotique ou nitrique, on emploie des cornues en fonte là où le fer serait corrodé très rapidement : la fonte, en effet, est peu dégradée soit par l'acide sulfurique concentré à 66° Baumé, soit par les *vapeurs* d'acide azotique pourvu qu'elles soient bien chaudes, car les vapeurs tièdes produiraient une vive attaque.

**Fontes spéciales.** — Les nécessités de la fabrication du fer et de l'acier ont amené les métallurgistes à produire des variétés de fontes contenant intentionnellement une proportion plus ou moins grande de divers autres éléments, ce sont les *fontes spéciales* utilisées pour la préparation d'aciers dits *spéciaux* parce qu'ils sont doués de propriétés particulières répondant à certains usages ou modes d'emploi spéciaux. Citons :

Le <i>ferro-chrome</i> . . . . .	} entrant dans la préparation des
Le <i>ferro-tungstène</i> . . . . .	

les fontes maganésées dites :

}	<i>Spiegels</i> lorsqu'elles contiennent moins de 25 pour 100 de man-
	ganèse ;
}	<i>Ferro-manganèse</i> lorsqu'elles contiennent plus de 25 pour 100 de
	manganèse.

le *ferro-aluminium*, le *ferro-silicium*, etc.

Pour obtenir ces divers produits au haut fourneau, il suffit

d'additionner les charges de minerai ferrique, de fondant et de coke, de la quantité voulue de minerai de chrome, de tungstène, de manganèse, etc.

**Autres fontes diverses.** — La fonte *malléable* contient fort peu de carbone et, par suite, se rapproche beaucoup plus de l'acier et même du fer. Comme son nom l'indique, elle peut se laminer et même se forger, se travailler et se mouler aisément. Moins coûteuse que l'acier et suffisamment résistante, elle est très répandue, notamment aux États-Unis, où on l'emploie pour la fabrication des machines agricoles, outils divers, chaînes, etc. On l'obtient en chauffant la fonte blanche au rouge naissant (500°), et au contact d'oxydes fournissant de l'oxygène : sesquioxyde de fer ou bioxyde de manganèse ; la fonte est ainsi décarburée partiellement au point voulu.

La *fonte émaillée* s'obtient en recouvrant l'objet en fonte d'une pâte peu épaisse composée d'eau et des matières suivantes finement pulvérisées : feldspath, silice, carbonate de soude, borax, argile, bioxyde d'étain pour donner l'opacité blanche ; on sèche et on porte dans un *four à moufle*<sup>1</sup> à une température suffisante pour fondre l'enduit et donner par refroidissement une couverte vitrifiée.

La *tôle*, ou fer en feuilles minces, peut recevoir une couche protectrice de composition semblable ou encore telle autre analogue comme la suivante :

- { Fl nt-glass (verre à base de plomb, ou *crystal*).
- { Carbonate de soude.
- { Acide borique anhydre.

On étame la fonte comme le fer en décappant d'abord le métal au moyen de l'acide chlorhydrique (esprit de sel) puis recouvrant ou plongeant la pièce dans l'*étain* fondu, ou encore dans l'alliage suivant :

}	Nickel. . . . .	5
}	Étain . . . . .	90
}	Fer. . . . .	5

1. Four contenant une cavité en terre réfractaire ou *moufle* renfermant les objets à chauffer et préservant ceux-ci de l'action directe des gaz du foyer.



fondu sous une couche de borax ou de verre pilé ; on obtient ainsi un enduit plus dur que l'étain seul. On peut encore effectuer sur la fonte un dépôt de fer par le moyen du courant électrique (dépôt électrolytique), puis *galvaniser* la couche de fer, c'est-à-dire la recouvrir d'un dépôt de zinc et finalement étamer le zinc.

La fonte ne peut guère se souder directement à moins que d'employer le chalumeau et un fondant de boro-carbonate de potassium et encore les criques sont à craindre par refroidissement. On peut aussi essayer le procédé du Dr Goldschmidt (Aluminothermie).

**Moulage de la fonte.** — La fonte même grise n'a pas la ténacité, la résistance du fer doux ; se brisant sous l'action d'un choc un peu violent, elle ne peut se forger et on ne peut lui donner la forme d'un objet déterminé que par l'intermédiaire du *moulage* qui consiste, comme l'on sait, à fondre le métal sous l'action d'une température suffisante et à le couler dans des *moules*, sortes de cavités résistantes présentant intérieurement la forme à reproduire.

Cette opération sera expliquée ultérieurement plus en détail au paragraphe *Fonderie*. Disons seulement pour l'instant que la coulée dans les moules peut se faire soit directement dès la sortie de la fonte liquide donnée par le haut fourneau, c'est alors la *fonte de première fusion* ; soit en refondant les gueuses de fonte dans un four spécial appelé *cubilot* et coulant ensuite, c'est ce qu'on appelle la *fonte de deuxième fusion*.

Le premier procédé est direct mais il n'est employé que pour confectionner de grosses pièces qui ne demandent pas un fini parfait telles que tuyaux de conduite, colonnes, becs de gaz, etc. Le second procédé s'applique aux pièces de dimensions moindres et qui exigent plus de perfection dans la qualité du métal et dans son aspect extérieur. Le cubilot (voir fig. 50) est un *four à cuve verticale* cylindrique, de grande hauteur relativement à son diamètre, et terminé inférieurement par un espace où débouchent les conduits amenant le vent d'une soufflerie ; pour le mettre en activité, on fait à la partie inférieure un feu de bois ou de tourbe, puis on le remplit de coke jusqu'à mi-hauteur ;

une fois celui-ci incandescent, on achève de remplir jusqu'au gueulard par des couches alternatives de fonte, de coke et d'un fondant de chaux; l'addition de cette dernière a pour but de provoquer la formation d'une scorie facilement fusible et de capter le soufre et le phosphore qui, en quantité appréciable, rendent le métal, le premier, fragile à chaud, le second cassant à froid. Les proportions les plus usitées sont, pour 200 kilogrammes de fonte, 15 kilogrammes de coke et 2 à 3 kilogrammes de chaux.

Comme on le voit, l'emploi d'une seconde fusion permet de réaliser une véritable purification du métal, ce que ne permet pas de faire le procédé de première fusion. On ajoute parfois aussi aux charges successives une proportion calculée de diverses fontes spéciales telles que *ferro-silicium* et *silico-spiegels*, pour faciliter la fluidité et la coulée et diminuer les *soufflures*, ou cavités remplies de gaz, qui subsistent après refroidissement et nuisent à la résistance de la pièce moulée.

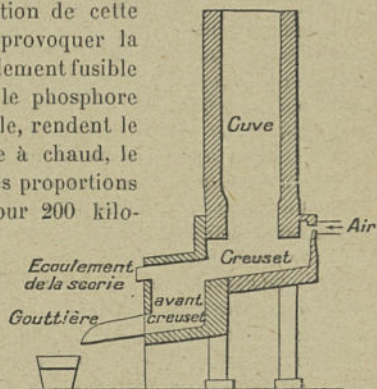


Fig. 50. — Cubilot de Kriger pour la seconde fusion de la fonte.

## 2° Affinage de la fonte. — Elaboration du fer.

**But et principe général de l'affinage.** — L'affinage de la fonte a pour but d'en éliminer les matières étrangères au fer, de façon à obtenir ce métal sous la forme ductile et malléable appelée *fer doux*.

Ce résultat s'obtient en faisant agir, sur la fonte fluidifiée par la chaleur, l'oxygène emprunté à l'air ou à un oxyde de fer suffisamment pur.

Si le carbone était la seule impureté à enlever, cet élément serait brûlé par l'oxygène et expulsé naturellement sous forme de produits gazeux, oxyde de carbone et gaz carbonique. Mais le problème se complique par suite de la présence d'autres substances oxydables qui gênent la décarburation et ne forment avec l'oxygène que des produits peu ou pas gazéifiables. Les éléments à chasser sont en les rangeant par ordre d'oxydabilité à chaud<sup>1</sup> : le silicium, le manganèse, le phosphore, le carbone auxquels on peut ajouter des traces de soufre.... Il en résulte que le carbone ne peut s'oxyder, et par suite quitter la fonte, que lorsque les autres éléments, notamment le silicium et le manganèse, seront préalablement éliminés. Voici alors ce qui se passe lorsque la fonte en fusion est soumise à l'action de l'oxygène : le silicium s'oxyde et donne de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) qui, à chaud, joue le rôle d'acide énergique, c'est-à-dire de corps éminemment apte à capter les bases s'il en existe de présentes ; c'est pourquoi, dans l'affinage de la fonte, on a soin d'ajouter celle-ci d'une proportion convenable de scories basiques expulsées dans une opération antérieure de cinglage au marteau-pilon (voir plus loin). La silice forme donc avec ces matières basiques un silicate complexe fusible ; le manganèse et le phosphore agissent successivement d'une manière analogue et donnent des manganates et phosphates qui, comme les silicates, passent dans la scorie. Celle-ci est ainsi rendue plus fluide grâce à la propriété générale plusieurs fois rappelée de l'abaissement de la température de fusion d'une substance par l'addition à celle-ci d'une ou plusieurs autres matières capables de s'y dissoudre.

Mais le fer, qui forme la masse dominante et se présente sous une grande surface, s'oxyde lui-même et fournit temporairement les oxydes ferrique ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et magnétique ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Ces oxydes, « supérieurs » (comme proportion d'oxygène), sont presque immédiatement ramenés par le pouvoir réducteur du silicium et du manganèse à l'état d'oxyde ferreux ( $\text{FeO}$ ) ou « inférieur » ; celui-ci, qui est une base assez forte, serait ensuite capté par la silice à l'état de silicate de fer et passerait ainsi dans la scorie si l'on n'avait pas eu soin d'ajouter préalablement les matières fortement basiques. Cet oxyde inférieur  $\text{FeO}$ , ainsi protégé, est ramené par l'arrivée d'une nouvelle quantité d'oxygène à l'état d'oxyde supérieur lequel se trouvera

1: Ou plutôt à la température particulière où s'effectue l'affinage, car l'affinité du carbone pour l'oxygène augmente avec la température beaucoup plus vite que celle du silicium, du manganèse, du phosphore, et surtout du fer, etc ; à très haute température, l'ordre peut être renversé.



réduit par le silicium qui passera à l'état de silice et ainsi de suite. On voit alors que l'oxyde de fer joue en quelque sorte le rôle de véhicule de l'oxygène et que l'opération sera accélérée par l'addition d'oxyde ferrique ou d'oxyde magnétique tout formés, comme celui dénommé *oxyde des battitures* qui se détache pendant le martelage du fer incandescent par le marteau-pilon.

Il est nécessaire aussi de remuer le mélange avec une longue tige de fer (*ringard*) mue généralement à bras d'homme, c'est ce qu'on appelle *brasser* ou *puddler* (*to puddle*, mot anglais signifiant *brasser*, d'où *puddlage*).

Vers la fin de l'opération, quand tout le silicium, le manganèse, le phosphore auront été éliminés, le carbone s'oxydera à son tour et donnera de l'oxyde de carbone (CO) qui réduira d'abord l'oxyde ferreux (FeO) en le ramenant à l'état métallique; le fer de cet oxyde rentrera ainsi dans le bain, tandis que CO passera à l'état de gaz carbonique qui se dégagera. Enfin quand il n'y aura plus que du carbone comme impureté, l'oxyde de carbone viendra brûler avec flamme à la surface du bain métallique.

L'affinage est retardé ou empêché par un *excès de silicium* parce que la silice, toujours en vertu de son acidité énergique à chaud, décompose les phosphates et manganates qui tendraient à se former en *déplaçant* de ceux-ci, c'est-à-dire en mettant en liberté, les acides phosphorique et manganique, lesquels, en fin d'opération, lorsque tout le silicium aura disparu, seront réduits par l'oxyde de carbone à l'état de manganèse et de phosphore qui se réincorporeront dans le bain.

Les progrès de l'opération d'affinage s'aperçoivent, on peut le dire, « à vue d'œil »; la fonte devient de moins en moins fluide au fur et à mesure qu'elle se transforme en fer; on élève donc la température pour parachever l'affinage et le métal prend l'aspect de petits grumeaux de consistance pâteuse comme le riz ou l'orge cuits dans du lait. Sous l'action du ringard, les grains de fer arrivent à se souder entre eux et à former une masse émergente, spongieuse, brillant d'un vif éclat sur le fond plus sombre de la scorie environnante. Il faut alors profiter de cet instant pour façonner rapidement le fer, toujours

au moyen du ringard, sous la forme d'un certain nombre de masses séparées dites *loupes* ou *balles* d'une trentaine de kilogrammes chacune. Ces loupes seront ensuite *pilonnées* immédiatement et passées ensuite au *laminoir*.

Tels sont les principes essentiels de l'affinage de la fonte ; nous allons maintenant entrer dans quelques détails sur les appareils et procédés particuliers employés pour réaliser cette transformation.

**Divers procédés d'affinage.** — Il a été déjà indiqué qu'on peut employer deux procédés d'affinage : l'un ancien et qui n'a plus qu'un intérêt historique, c'est l'affinage au *bas-foyer* ; l'autre, moderne, est l'affinage anglais ou puddlage dont nous avons esquissé la théorie.

**Puddlage.** — Dans ce procédé la matière à traiter et le combustible sont séparés l'un de l'autre, on évite ainsi le contact de la fonte avec le carbone et l'on peut employer la houille ou le coke sans craindre que le soufre du charbon puisse passer dans le métal.

L'adoption d'un tel foyer, indépendant du *laboratoire* (espace où sont déposées les matières réagissantes), permet de se libérer des minutieux tours de main qu'exigeait le procédé au bas-foyer et de se dispenser aussi du *soufflage* du vent par des tuyères, puisque l'air peut circuler de lui-même dans l'appareil par le tirage naturel du foyer.

Le laboratoire comprend une aire plane ou légèrement concave appelée *sole* (voir fig. 51), primitivement en matériaux siliceux, mais actuellement en fonte recouverte de scories basiques pour les raisons qui ont été indiquées antérieurement.

Les parois sont des plaques de fonte protégées par un revêtement ferreux ou calcaire refroidi par une circulation d'air ou d'eau dans des canaux intérieurs *c.*

La sole est séparée du foyer par une cloison dite *pont* ou *grand autel*, et de la cheminée par un conduit appelé *ram-pant*. Le foyer et la sole sont couverts par une voûte formant réverbère pour la chaleur qui se trouve ainsi renvoyée par réflexion et concentrée vers les matières déposées sur la sole.



Un tel appareil constitue ce que l'on appelle un *four à réverbère*.

Les gaz chauds produits par la combustion du charbon viennent, sous l'action de la voûte surbaissée, lécher la sole, puis, avant de se perdre dans la cheminée, passent sur une seconde

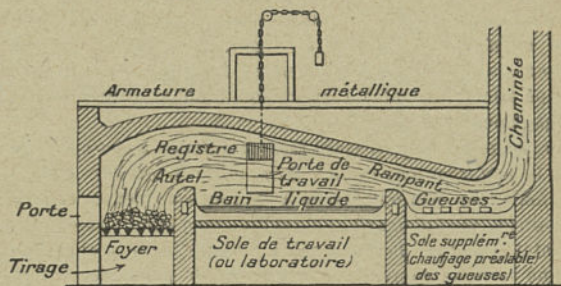


Fig. 51. — Four à puddler ; coupe longitudinale.

sole à réchauffer les gueuses ou sous les générateurs d'une machine à vapeur.

Quand le four à puddler est suffisamment chaud, on y introduit, par une ouverture dite *porte de travail*, environ 200 à 250 kilogrammes de gueusets de fonte et la proportion convenable de battitures et de scories riches en oxyde de fer ; on ferme ensuite l'ouverture et, la température continuant à s'élever, les matières entrent en fusion en se superposant par ordre de densités, la scorie fondue surnageant.

Pendant une première phase, la matière reste tranquille : c'est la période de *scorification*, où le silicium, le manganèse, le phosphore... s'oxydent et passent dans la scorie ; on fait écouler celle-ci par la porte de travail.

Dans une deuxième phase, le bain devient tumultueux, agité par le départ des gaz, tandis que des jets de flamme sillonnent la surface, indiquant avec évidence la production d'oxyde de carbone et la combustion de ce gaz : c'est la période de *décarburation*. En même temps le métal perd progressivement sa fluidité et le brassage devient de plus en plus difficile ; les pro-



grès de l'affinage sont nettement visibles et le métal forme des éminences incandescentes qu'on rassemble en loupes d'une trentaine de kilogrammes.

Le procédé qu'on vient de décrire est le plus répandu de nos jours ; on lui donne le nom de *puddlage bouillant* pour le distinguer d'un autre mode opératoire plus rapide et moins coûteux appelé *puddlage sec, maigre* ou *froid*, parce qu'au contraire du précédent, la fonte n'est pas amenée à l'état liquide et ne peut, en fin d'opération, présenter l'aspect bouillonnant caractéristique dû au dégagement des gaz CO et CO<sup>2</sup>.

Le brassage au ringard étant très pénible, on a cherché à lui substituer le *puddlage mécanique*. De nombreux procédés ont été imaginés, mais bien peu ont résisté à l'épreuve de l'expérience. Citons néanmoins le four Bouvard à sole cylindrique mobile autour d'un axe horizontal et le four Pernot à sole circulaire inclinée et mobile, suivant une sorte de mouvement de précession, par la révolution d'un arbre faisant un angle de quelques degrés avec la verticale et tournant en même temps sur lui-même. Dans tous ces dispositifs la difficulté réside toujours, non pas tant dans le brassage lui-même, mais dans la confection finale des loupes pour laquelle le travail manuel au ringard redevient nécessaire. Et puis les soles et les mécanismes se dégradent rapidement et entraînent de grands frais d'entretien.

**Cinglage et laminage de la loupe.** — La loupe, aussitôt formée dans le four, en est extraite au moyen de fortes tenailles et transportée rapidement sur une petite brouette en fer dans la salle de pilonnage. Cette loupe spongieuse est formée de fer incandescent imprégné de scories qui en zèbrent la surface de veines sombres. On expulse ces impuretés en soumettant la masse molle à l'action d'un petit marteau-pilon appelé *pilon cingleur* ; la tête percutante, qui pèse environ deux tonnes, est soulevée par l'action de la vapeur sur un piston lié au marteau ; une fois celui-ci arrivé en haut de sa course, on laisse échapper la vapeur et le système, abandonné à lui-même, retombe sous l'action de la pesanteur et vient frapper ou cingler la loupe ; c'est le marteau à *simple effet*, ainsi appelé parce que la vapeur n'agit que sur une des faces du piston (la face inférieure pendant la montée). Il existe aussi des marteaux

à *double effet* où la vapeur agit en outre à la descente, sur l'autre face du piston, et ajoute ainsi son effet propre à celui de la pesanteur.

Il faut procéder d'abord doucement afin de ne pas disloquer la masse spongieuse encore peu cohérente, puis, lorsque les diverses parties sont fortement soudées entre elles, on accroit progressivement l'énergie et la rapidité du cinglage, la scorie s'écoule alors sur l'enclume ou est projetée à distance (fig. 52). On façonne le métal en un bloc parallépipédique appelé *massiau* ayant approximativement comme dimensions en centimètres  $40 \times 15 \times 10$ .

On profite de ce que le massiau est encore rouge, donc plastique, pour le faire passer et repasser un certain nombre de fois entre les cylindres d'un petit laminoir (laminoir de puddlage), qui le transforment en une sorte de lame de plusieurs mètres de longueur, d'un décimètre de largeur et de 2 à 3 centimètres d'épaisseur. Cette lame constitue ce qu'on appelle un *ébauché de puddlage*; sous cet état elle peut servir directement aux travaux de forge; mais le plus généralement, comme le métal n'est pas rigoureusement homogène et de qualité donnée, on classe les ébauchés d'après la nature de leur cassure grenue ou fibreuse (voir plus loin, aux propriétés mécaniques du fer). On assemble alors entre elles plusieurs de ces barres plates, en les choisissant judicieusement d'après leur nature, et on les assemble en un paquet qu'on maintient par du fil de fer.

Ce paquet est ensuite chauffé au blanc soudant, c'est-à-dire dans le voisinage de  $1500^{\circ}$ , dans un four spécial dit *four à réchauffer*, puis on le fait passer encore chaud entre les cylindres d'un laminoir; les lames se soudent et leurs matières respec-

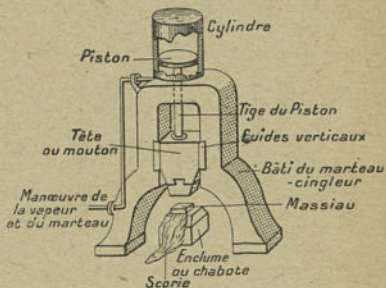


Fig. 52. — Marteau-pilon.



tives se pénètrent intimement. Le métal homogène ainsi obtenu prend le nom de *fer corroyé*.

## PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU FER

**Propriétés générales.** — L'importance du fer au point de vue des applications pratiques provient de ses précieuses propriétés mécaniques et de son bon marché relatif. C'est le métal usuel par excellence ; on peut en dire autant de l'acier.

Voici les principales de ces propriétés :

A) A froid, sa *douceur* permet de le courber, de le limer, couper, forer ; sa *ténacité*, c'est-à-dire sa résistance à la rupture, permet de l'étirer en fils de moins de 1/10 mm. de diamètre (*ductilité*) et de l'aplatir, sans criques ni gerçures, en feuilles minces (*tôle*) de très faible épaisseur (*malléabilité*).

B) A chaud, en vertu de sa *plasticité*, on peut lui faire prendre toutes les formes voulues par le *forgeage* et le *souder* à lui-même.

**Essais des fers.** — Les qualités ci-dessus énumérées sont surtout marquées dans le fer pur, ou *fer doux*, et peuvent être plus ou moins diminuées par la présence de certaines impuretés. Comme il est de la plus haute importance d'avoir des renseignements précis à cet égard, on soumet le fer à une série d'essais mécaniques dont nous allons donner une idée succincte.

1<sup>o</sup> **Essais simples.** — Ces essais se font sans matériel spécial et suffisent la plupart du temps.

A). Détermination de la *structure* d'une barre de fer. On dispose celle-ci horizontalement, une de ses extrémités reposant sur une enclume et la dépassant en porte-à-faux ; on pratique à peu de distance et en deçà du bord de l'enclume, une incision de faible profondeur au moyen d'un burin, ou d'une sorte de ciseau appelé *tranche* ; puis l'on donne des coups de marteau sur l'extrémité en porte-à-faux ; si celle-ci se recourbe sans se détacher, en présentant une séparation d'aspect *fibreuse* ou nerveux comme du bois, c'est l'indice qu'on a affaire à un bon métal, à du *fer doux* ; on peut même alors replier complètement l'extrémité et l'appliquer contre le restant de la barre (fig. 53).



Dans le cas contraire, le métal se brise net et l'extrémité se détache; la cassure a l'aspect *grenu*, dans le genre d'un morceau de grès; on a alors affaire à du fer *dur*, de mauvaise qualité.

Il peut arriver que ce défaut soit dû simplement à la façon dont le métal a été travaillé antérieurement; dans ce cas on peut modifier heureusement ses propriétés et lui faire acquérir la constitution fibreuse par une série de réchauffages, de laminages et d'étirages appropriés... et réciproquement le martelage, ou une succession de chocs ou de vibrations trop souvent répétés, amène la transformation du fer fibreuse et résistant en la variété grenue et cassante; c'est ce qui arrive notamment pour les essieux de voitures, surtout si celles-ci sont lourdement chargées et non suspendues sur des ressorts amortisseurs, comme les tombereaux, etc. On sait aussi que, lorsqu'un train de chemin de fer arrive en gare après avoir fourni un très long parcours, un *visiteur* est chargé de donner un coup de marteau sur chaque roue de wagon afin de s'assurer, par le son pur qu'elle rend, qu'aucune fêlure ne s'est produite, ce qui indiquerait la transformation du fer ou de l'acier fibreuse en variété grenue.

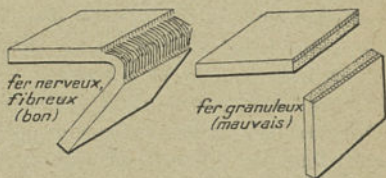


Fig. 53. — État du fer selon l'aspect de la cassure.

B) Mais généralement les défauts du fer proviennent des matières étrangères nuisibles qui entrent dans sa composition. C'est ainsi que le soufre et l'arsenic rendent le fer et l'acier cassants à *chaud*, difficiles à forger et à souder sans qu'il s'y forme des *criques* ou gerçures; dans ce cas, le fer est dit *rouverain*. Le phosphore, par contre, rend le fer et l'acier cassants à *froid*, mais n'empêche pas de les travailler assez bien à chaud; le fer est alors *aigre* et possède une structure *lamelleuse*. En tout cas, la cassure à froid, grenue ou fibreuse, doit être fine, régulière, blanc argenté; une cassure terne et discontinue est un signe de qualité inférieure.

Il est, en outre, absolument nécessaire d'étudier la façon dont se comporte le fer, non seulement à froid, mais aussi à chaud. On portera donc le métal au rouge et on observera si les arêtes gardent leur netteté après refroidissement ; si l'on peut marteler, étirer, tordre, façonner en pointe le fer chaud sans déterminer la formation de criques sur les bords ; si l'on peut pratiquer un trou avec un poinçon, agissant à la manière d'un emporte-pièce, sans que les bords de l'orifice présentent de gerçures. On fera bien encore de chauffer le fer au blanc vif, vers  $1300^{\circ}$ , pour vérifier s'il se soude parfaitement à lui-même sans laisser aucune trace de la soudure après refroidissement. Dans ces diverses opérations, il sera bon de saupoudrer le métal avec un peu de sable siliceux afin d'éviter toute oxydation par l'oxygène de l'air.

Ayant ainsi effectué les essais précédents, on saura d'une façon précise à quelle variété, bonne ou mauvaise, de métal on a affaire. Si le fer est bon il peut être *doux*, presque chimiquement pur et alors mou et très oxydable ; ou bien *fort*, c'est-à-dire doué d'une très grande résistance à tous les efforts, ce qui provient d'une très légère quantité de carbone qui ne l'empêche pas cependant de se laisser parfaitement forger, souder, ou courber à froid et à chaud. Le fer fort est encore appelé *fer aciéreux*. Son emploi est indiqué partout où l'on a besoin de résistance.

C) On pourra, si l'on veut, poursuivre l'étude des propriétés pratiques du fer en essayant de le réduire en lames au moyen du marteau, ou en fils au moyen du banc à tirer et de la filière. (Voir plus loin). On fera subir à la lame ou au fil des alternatives de flexions et de pliages, de torsions, etc., et l'on comptera le nombre de mouvements de va-et-vient qui sont nécessaires pour produire la rupture, c'est-à-dire l'*écrouissage total*. L'écrouissage est une modification subie par la structure interne d'un métal sous l'influence d'actions mécaniques, de déformations par laminage, tréfilage, estampage au balancier, martelage, etc., toutes opérations qui ont pour effet de diminuer très fortement la *cohésion* du métal et, par conséquent, de le rendre plus cassant ; on lui restitue ses propriétés primitives



en le recuisant à une température voisine du rouge ; on peut alors le travailler de nouveau.

2° **Essais scientifiques.** — Ces essais s'effectuent au moyen d'appareils très précis mais trop compliqués pour que nous les décrivions ici. Le but principal des recherches est de déterminer la valeur numérique de quelques grandeurs caractéristiques de l'élasticité et de la ténacité du métal. Rappelons d'abord que l'élasticité est la propriété plus ou moins accusée que possède une substance de reprendre sa forme et ses dimensions primitives, lorsqu'on cesse de faire agir sur elle les efforts qui tendaient à la déformer. C'est ainsi qu'une lame d'acier, étant ployée puis abandonnée à elle-même, reprend sa forme rectiligne primitive ; l'acier est donc élastique ; le plomb, au contraire, dans les mêmes conditions, reste courbé et, par conséquent, n'est pas élastique.

Ceci posé, imaginons qu'un fil de fer vertical soit encastré à son extrémité supérieure et supporte, par le bas, un plateau que nous pourrions charger de poids plus ou moins lourds. Opérons progressivement ; pour de faibles poids, le fil, qui s'était allongé, reprend sa longueur primitive lorsqu'on enlève la charge : son élasticité est intacte ; mais si l'on continue à augmenter le poids tenseur, il arrive un moment où le fil, après suppression de la charge trop forte, conserve un résidu d'allongement : la *limite d'élasticité* a été atteinte et dépassée. Si l'on poursuit l'expérience en augmentant encore les poids, le fil, qui s'allonge de plus en plus, arrive à se rompre : on a atteint ce que l'on appelle la *charge de rupture* ; on mesure donc pour un fil de 1 mm<sup>2</sup> de section :

1° La charge correspondant à la limite d'élasticité ;

2° La charge de rupture et l'allongement centésimal qui existe à ce moment précis.

Parmi tous les métaux *purs* (c'est-à-dire abstraction faite des alliages ou des autres combinaisons quelconques) c'est le *fer doux* qui possède la charge de rupture la plus considérable, environ 60 à 70 kilogrammes par millimètre carré. Mais ce qu'il y a de plus important, au point de vue des applications, c'est la charge *limite d'élasticité* (environ 30 à 35 kg.)<sup>1</sup> qui indique le maximum

1. Comparer ces nombres avec ceux relatifs à un fil de cuivre ou de plomb :

	Charge limite d'élasticité.	Charge de rupture
Cuivre. . . . .	12	40
Plomb. . . . .	1	1,3



d'effort que l'on peut demander à la matière sans modifier dangereusement ses propriétés de résistance ; hâtons-nous de dire que, dans la pratique, on se garde bien de soumettre le fer à une fatigue si excessive et que la *charge de sécurité*, c'est-à-dire le plus grand effort auquel on soumet le métal, n'est que le dixième de celle d'élasticité ; on a ainsi toute sûreté relativement à la solidité des constructions et des machines.

**Propriétés physiques et chimiques du fer.** — Le fer est un métal magnétique : il s'aimante très fortement par le voisinage d'un aimant d'acier ou sous l'influence d'un courant électrique circulant autour de lui. Mais cette aimantation, pour le *fer doux*, n'est que temporaire, elle disparaît avec la cause qui l'a provoquée, tandis que l'acier, au contraire, peut garder son magnétisme d'une façon permanente. Cette propriété importante du fer doux est utilisée pour la fabrication des *électro-aimants*, organes essentiels d'une foule d'appareils scientifiques et industriels : sonneries, machines dynamos, télégraphes, etc.

La propriété magnétique du fer, et aussi celle de l'acier, disparaît quand on porte ces métaux à une température voisine de 750° : il y a donc du fer magnétique et du fer non magnétique, selon la température, donc deux variétés au moins de fer ; l'étude scientifique de la question montre qu'il en existe encore plusieurs autres<sup>1</sup>.

Le fer doux peut être fortement chauffé (au-dessus de 750°), puis refroidi brusquement sans acquérir une dureté plus grande ; autrement dit, il est indifférent à la *trempe*. Cette insensibilité subsiste dans tous les fers contenant même un peu de carbone, pourvu que la proportion de celui-ci ne dépasse pas 0,4 pour 100.

Le fer doux est un métal extrêmement oxydable ; on arrive facilement à le faire brûler dans l'oxygène<sup>2</sup>, pourvu qu'on le chauffe préalablement, et même dans l'air à la température ordinaire, si l'on a eu soin de l'amener chimiquement à un état de division extrême (*fer pyrophorique*). C'est en vertu de cette propriété que le fer rouge, lorsqu'il est martelé, lance de toutes

1. Voyez plus loin : figure 61, p. 129 et suivantes.

2. Voyez *Cours de chimie*, par P. MÉTRAL ; Masson et C<sup>ie</sup>, éditeurs.

parts le résultat de son oxydation superficielle, savoir l'oxyde des *battitures* principalement formé par la combinaison  $\text{Fe}^3\text{O}^4$ . On sait aussi que le fer brûle aisément au feu de forge et qu'on ne peut constituer les foyers et barreaux de fourneaux qu'en fonte et non en fer qui serait rapidement rongé.

Le fer est encore attaqué énergiquement par le soufre, le chlore et les acides, mais non par les alcalis ; on peut conserver indéfiniment sans altération un morceau de fer poli plongé dans de l'eau tenant en dissolution une certaine quantité de soude ou de potasse caustiques.

En vertu de son oxydabilité, le fer se rouille très promptement sous l'action de l'air humide, et l'on sait que, dans ces conditions, le métal se trouve rongé de plus en plus en profondeur et qu'avec le temps, il finit par disparaître entièrement ; aussi est-il nécessaire de le préserver de cette cause de destruction par divers moyens : on le recouvre d'une couche de peinture à base de minium, ou d'un vernis, d'un émail, ou encore de nickel, de zinc ou d'étain.

Pour étamer le fer, on commence par en nettoyer soigneusement la surface ; les corps gras sont détruits par un chauffage préalable ; on plonge ensuite l'objet dans de l'eau acidifiée par l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique afin de *décaper* ou dérocher le métal, c'est-à-dire dissoudre la légère couche d'oxyde qu'a produite le chauffage ; on rince soigneusement dans l'eau pure pour éliminer toute trace d'acide et l'on sèche en plongeant dans un bain de suif fondu ; enfin on immerge le fer dans un bain d'étain fondu recouvert de suif ou de sel ammoniac ; en frottant avec un linge ou une étoupe, l'étain se répand sur toute la surface du fer et y adhère fortement sous forme d'un alliage. On retire, on refroidit dans l'eau et si l'on veut que la couche reste brillante, on laisse sécher lentement dans du son. On obtient ainsi le fer étamé et le *fer-blanc*.

On recouvre le fer d'une couche de zinc par un procédé analogue en remplaçant l'étain par le zinc. Le fer, ainsi protégé, prend le nom impropre de *fer galvanisé* ; on en fait de nombreux objets : ustensiles de ménage, fils de fer, etc.

Le *moiré métallique* du fer s'obtient en plongeant le fer-blanc



dans une eau *régale* faible (mélange d'acides chlorhydrique et azotique étendu d'eau) ; on rince et on vernit.

On *nickèle* le fer en l'immergeant dans un bain de sulfate double de nickel et d'ammoniaque traversé par un courant électrique d'intensité déterminée, et de telle façon que l'objet à nickeler constitue la *cathode*, c'est-à-dire l'électrode de sortie

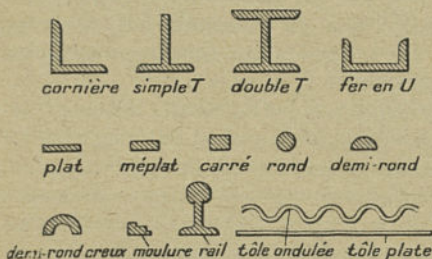


Fig. 54. — Quelques fers marchands.

du courant. L'électrode d'entrée ou *anode* doit être une plaque de nickel qui se dissout alors progressivement et maintient constante la composition du bain.

**Fers marchands.** — Le plus pur des fers marchands est le fil de fer pour cordes de pianos. Les autres variétés contiennent une très faible proportion de carbone et quelques autres impuretés.

Le laminoir et divers autres outils permettent de livrer des fers présentant les formes les plus variées dont la figure 54 ne peut donner qu'une idée incomplète.

### 3° Elaboration de l'acier.

**Classification des procédés.** — L'acier diffère de la fonte par une proportion moindre de carbone, soit 0,5 à 1,5 pour 100 au lieu de 2 à 5. Il diffère du fer doux par la présence du carbone d'où dérive l'importante propriété de la *trempe*, c'est-à-dire du durcissement obtenu par refroidissement brusque.

On conçoit que, pour arriver à l'acier, on puisse suivre deux voies opposées :

1° Partir du fer doux et lui incorporer la quantité de carbone



convenable ; cette opération prend le nom de *cémentation* ou recarburation.

2<sup>o</sup> Partir de la fonte et lui enlever assez de carbone pour l'amener à l'état d'acier, c'est à-dire faire subir à la fonte un *puddlage* incomplet.

Ces deux procédés doivent être complétés par une opération d'homogénéisation du métal, soit par *corroyage*, soit mieux encore par *fusion* ; d'ailleurs ces méthodes, ne fournissant qu'une quantité limitée d'acier, cèdent le pas, pour la production en grandes masses, à deux autres procédés où le métal est élaboré de suite à l'état liquide, savoir :

3<sup>o</sup> Le procédé Bessemer ;

4<sup>o</sup> Le procédé Martin Siemens.

Par ces deux dernières méthodes, le métal subit, à l'état fluide, un traitement *mixte* consistant en une sorte de puddlage ou d'affinage oxydant suivi d'une carburation. Mais le traitement par le procédé Martin peut aussi être simple, c'est-à-dire consister, suivant une indication donnée autrefois par Réaumur, à *diluer* une bonne fonte dans une masse de fer doux assez considérable pour amener la teneur en carbone à un plus faible taux, celui de l'acier demandé.

Nous allons donner rapidement une idée de chacune de ces méthodes.

1<sup>re</sup> MÉTHODE. — **Acier de cémentation.** — C'est la plus ancienne des méthodes ; c'est aussi celle qui donne les produits de qualité supérieure, pour la raison bien simple que l'on part d'un métal presque pur, le *fer doux*.

Les barres de fer doux sont disposées par lits horizontaux dans des caisses en terre réfractaire, avec interposition, entre chacun de ces lits, d'une couche de *cément*, poudre constituée par un mélange de charbon de bois pulvérisé additionné d'un dixième de son poids de cendres et de sel marin. Avant de fermer la caisse, on étale une couche de sable afin de protéger le cément et le métal contre l'action oxydante de l'air contenu dans les gaz du foyer. Les caisses sont ensuite placées au-dessus d'un foyer à grille et chauffées vers 800°-900° pendant deux à trois semaines (fig. 55). Le fer se carbure superficiellement d'autant

mieux qu'il est plus chaud ; mais on ne dépasse pas la température indiquée parce que la quantité de carbone incorporé serait trop grande. Les barres, défournées après refroidissement, se montrent couvertes d'ampoules dues au dégagement de gaz qui

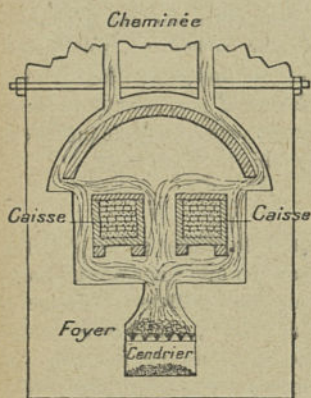


Fig. 55. — Four de cémentation.

s'est produit pendant la chauffe ; c'est ce qu'on appelle l'*acier poule*. Comme la cémentation n'est réalisée que sur une très faible profondeur, il s'agit de donner à ce métal l'homogénéité indispensable qui lui fait défaut. Dans ce but, on peut employer deux moyens ; le meilleur est de refondre l'*acier poule* dans des *creusets* en terre réfractaire (fig. 56) ; ceux-ci peuvent contenir 40 à 50 kilogrammes d'acier et sont introduits dans un four chauffé soit latéralement au moyen d'un foyer à grille, soit mieux par l'oxyde de carbone d'un générateur-récupérateur Siemens. On atteint ainsi facilement la température de 1300° nécessaire sans risquer de *brûler l'acier*, c'est-à-dire de l'oxyder, car le creuset constitue une sorte de vase clos où le métal est protégé contre toute action oxygénante. Quand, au bout de quelques heures de chauffe, l'acier est prêt à être coulé, des ouvriers, couverts de vêtements de toile mouillée, se placent au-dessus des ouvertures du four ; ils saisissent alors, au moyen de fortes tenailles, les lourds creusets incandescents et les sortent de la fournaise. C'est un travail fort pénible.

On ne coule pas immédiatement l'acier ; on le laisse tranquille pendant quelques minutes afin de laisser aux gaz occlus le temps de se dégager.

Ce procédé d'obtention au creuset (*acier fondu*) est beaucoup plus coûteux que ceux de Bessemer et de Martin, mais il donne les produits les plus appréciés ; il part, en effet, d'un métal pur



qui, à aucun moment de sa fabrication, ne subit de réaction oxydante qui, par suite, ne contiendra aucune parcelle d'oxyde de fer interposé pouvant nuire à l'homogénéité.

L'acier fondu sert à fabriquer des outils, des ressorts, des pièces de machines et même des arbres de transmission, canons, frettes, etc. Certains de ces objets sont fabriqués par forgeage ou laminage, les autres par moulage avec addition d'aluminium ou de silicium pour éviter les soufflures.

Les aciers dits *spéciaux*, s'ils ne doivent pas être en masse trop grande sont, eux aussi, élaborés au creuset par addition de la proportion voulue de fonte spéciale, fonte au chrome, au nickel, etc.

Le second moyen, pour donner à l'acier de cémentation l'homogénéité qui lui manque, consiste à lui faire subir l'opération du *corroyage* dont il a déjà été question à propos du fer. Ce procédé consiste à former, avec les barres d'acier poule, un *paquet* ou *trousse* maintenu par des ligatures en fer; on porte le tout au rouge cerise presque clair dans un *four à réchauffer*, puis on soumet le paquet à l'action du marteau-pilon pour amener la soudure des diverses barres, et enfin on l'introduit entre les cylindres d'un *laminoir*, le métal s'aplatit alors en s'allongeant en quelque sorte comme une courroie, d'où le nom de corroyage donné à ce procédé. On a ainsi des barres d'acier une fois corroyé ou à *une marque*; on peut réitérer le corroyage et avoir l'acier à deux marques. On ne peut aller trop loin dans cette voie, car une série de réchauffages de l'acier est plutôt nuisible à ses qualités. C'est ainsi que si ce métal est porté pendant longtemps à une température très supérieure au rouge cerise clair, c'est-à-dire à 1000° environ, et surtout si les gaz ambiants sont oxydants, l'acier est alors brûlé: il n'a plus de consistance, il a perdu son état nerveux et sa cassure présente des grains cristallins à facettes planes et des granules d'oxyde de fer. Le même résultat est encore obtenu par une série de chaudes trop répétées ou mal conduites.



Fig 56. — Creuset pour fusion de l'acier.



Ajoutons, pour clore ce chapitre du corroyage, que ce procédé se pratique de moins en moins aussi bien pour les aciers de cémentation que pour les fers puddlés.

La cémentation du fer se pratique quelquefois sur des pièces toutes fabriquées, telles que tourillons, etc., auxquelles on veut communiquer un durcissement superficiel qui empêche une usure trop rapide.

Les cuirasses qui protègent les vaisseaux de guerre sont constituées par d'épaisses plaques d'acier doux dont la surface a été durcie par la cémentation : ce procédé est connu sous le nom de *harveyage* pour rappeler le nom de son inventeur Harvey. L'acier doux ainsi *harveyé* présente la qualité précieuse de garder une haute résistance dans toute son épaisseur, ce qui le met à l'abri des ruptures, fêlures, dislocations que tend à produire le choc violent des projectiles.

La cémentation du fer peut être obtenue non seulement avec le ciment à base de carbone libre dont il a été question, mais encore avec un grand nombre de corps carbonés tels que les cyanures, la vapeur de pétrole ou d'un hydrocarbure quelconque, etc.

2<sup>e</sup> MÉTHODE. — *Acier puddlé*. — On opérerait au four à puddler, comme pour l'obtention du fer doux, mais en arrêtant l'affinage avant que tout le carbone ait disparu. L'acier ainsi obtenu manquerait, lui aussi, d'homogénéité et il fallait par conséquent en uniformiser la structure soit par le corroyage, soit par la fusion au creuset. L'acier puddlé tend à disparaître de plus en plus.

3<sup>e</sup> MÉTHODE. — *Procédé Bessemer*. — En voici le principe : on transforme la fonte en acier en faisant passer à travers le métal en fusion un grand nombre de jets d'air comprimé qui produisent l'affinage, c'est-à-dire la décarburation complète, puis on recarbone partiellement le fer par l'introduction d'une fonte de composition déterminée.

La fonte liquide est contenue dans une grande cornue rotative appelée *convertisseur* (fig. 57), de 1 m. 50 de diamètre et de 2 à 3 mètres de hauteur, qui peut contenir jusqu'à 10 et même 15 tonnes d'acier. Pour supporter ce poids considérable,

le revêtement intérieur en terre réfractaire est maintenu par une enveloppe de plusieurs plaques épaisses de tôle fortement assemblées par des frettes et des rivets. L'ensemble repose sur deux paliers par l'intermédiaire de deux tourillons; l'un de ceux-ci sert à amener l'air comprimé jusqu'à une cavité dite

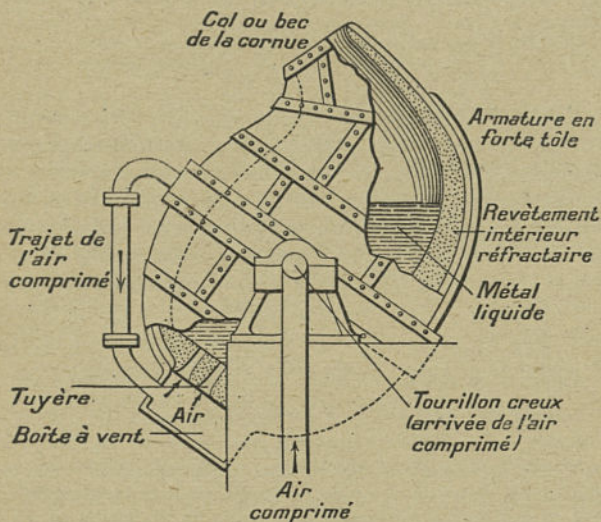


Fig. 57. — Convertisseur Bessemer pour la fabrication de l'acier.

*boîte à vent* placée à la partie inférieure de la cornue : de là, l'air jaillit au sein du métal fondu placé au-dessus, en passant à travers un grand nombre de conduites ou tuyères percées dans le faux-fond; ce dernier d'ailleurs se corrompt rapidement et doit être remplacé assez souvent. L'autre tourillon est plein et porte une petite roue dentée (pignon) qui engrène avec une crémaillère permettant la rotation de la cornue pour le chargement et la coulée. Les flammes et les fumées se rendent sous une hotte et une cheminée. On dispose généralement deux cornues en face l'une de l'autre de chaque côté d'une excavation ou *fosse de coulée* (fig. 58).



La nature du revêtement intérieur joue un rôle fondamental au point de vue de la possibilité de traiter des minerais phosphoreux ou non phosphoreux, selon que ce revêtement est constitué par des briques siliceuses (garnissage *acide*) ou par des calcaires magnésiens (garnissage *basique*). Nous diviserons donc cette étude en deux parties :

- { Bessemer acide n'admettant que des fontes non phosphoreuses.
- { Bessemer basique permettant de traiter des fontes phosphoreuses.

1<sup>o</sup> **Bessemer acide.** — L'ordre des opérations est le suivant. On commence par porter l'intérieur du convertisseur au rouge blanc en le remplissant de coke allumé et faisant fonctionner la soufflerie ; puis on vide la cornue et on y introduit la fonte préalablement fondue dans un cubilot, ou bien de la fonte de première fusion, c'est-à-dire provenant directement du haut fourneau. Ensuite on fait arriver le vent et on redresse l'appareil : la pression de l'air suffit à empêcher la fonte liquide de refluer dans les tuyères. C'est alors que commence l'affinage dans lequel on peut distinguer trois périodes principales :

A) Période de *scorification* ou des *étincelles* (dues aux particules métalliques ou scorifiées entraînées par le vent). Pendant cette période, qui dure de 5 à 10 minutes, le *silicium*, qui est l'élément le plus oxydable, brûle le premier en produisant de la silice  $\text{SiO}_2$  et celle-ci se combine à une partie de l'oxyde de fer formé en même temps, d'où une scorie de silicate de fer surnageante ; le carbone ne brûle pour ainsi dire pas, et la fluidité du bain se maintient grâce à la grande quantité de chaleur que dégage la formation de la silice. C'est précisément cette combustion du silicium qui permet le succès de la méthode en empêchant le bain de se refroidir et de se prendre en masse solide, circonstance qui provoqua un certain étonnement au début de ce procédé. Ceci explique encore pourquoi les fontes ainsi traitées au convertisseur *acide* doivent être riches en silicium, nécessité qui, finalement, nuit plutôt à la douceur du métal car celui-ci ne peut pas être totalement dépouillé de cet élément étranger.

B) Période des *flammas* ou de *décarburation* (15 à 20 minutes), caractérisée par l'apparition, au col de la cornue, d'un jet de flammes dues à la combustion du carbone avec production d'abord de gaz carbonique, puis d'oxyde de carbone.



C) Période des *fumées* rougeâtres dues à l'oxyde ferrique produit par la combustion d'une partie du fer qui brûle à son tour une fois que tout le carbone a disparu.

On peut se demander pourquoi l'on n'arrête pas l'affinage un peu avant l'apparition de cette troisième période, au moment où il reste encore un peu de carbone dans le bain ? Voici la double réponse à cette question : d'abord, on a besoin de réaliser un acier de composition déterminée en carbone, ce qu'on ne peut obtenir d'une façon rigoureuse en arrêtant le travail de la cornue en pleine marche d'affinage parce que cette marche est trop rapide ; ensuite et surtout, le fer commence à s'oxyder déjà avant la disparition complète du carbone, or un bain chargé d'oxyde ferrique donnerait un métal impossible à forger et à marteler à chaud.

On se trouve donc dans la nécessité de pousser la décarburation jusqu'à son point ultime, quitte à ajouter finalement un corps capable de désoxyder le fer et de le recarburer ; ce corps, ce véritable réactif chimique, c'est la *fonte manganésée*, soit sous forme de *spiegeleisen* (20 à 25 pour 100 de manganèse), soit sous forme de *ferro-manganèse* (80 à 85 pour 100 de manganèse) ou d'une variété intermédiaire. Ce réactif remplit le triple rôle chimique de désoxyder le bain par son manganèse, métal plus oxydable que le fer, de le recarburer en proportion déterminée par son carbone et de se substituer au fer qui aurait déjà passé dans la scorie ; il joue en outre le rôle physique de réchauffeur du métal et de la scorie, et rend ainsi la coulée de l'un et la séparation de l'autre plus faciles.

La découverte de Bessemer permit l'obtention de 10 à 15 tonnes d'acier dans l'espace d'une heure au plus et, en rendant possible l'exécution de grosses pièces très résistantes qui ne pouvaient pas être obtenues autrefois, imprima un développement prodigieux à l'industrie métallurgique.

L'acier, une fois obtenu dans le convertisseur, est versé dans une grande *poche* supportée à l'extrémité d'une sorte de grue pivotante (fig. 58) ; de là, on le coule dans des *lingotières* d'où il sort sous forme de *lingots*, que l'on soumet immédiatement à l'action du marteau-pilon et du laminoir ; on obtient ainsi les objets les plus divers : barres, projectiles, blindages, rails, etc.

2<sup>o</sup> **Bessemer basique.** — On fut longtemps sans pouvoir traiter au Bessemer des fontes tant soit peu phosphoreuses, le

phosphore restait dans le bain et rendait le métal cassant à froid; c'était là une circonstance d'autant plus fâcheuse que les minerais phosphoreux sont très abondants, notamment dans l'Est de la France, en Lorraine, à la limite même du territoire.

C'est grâce aux travaux de deux métallurgistes, Thomas et

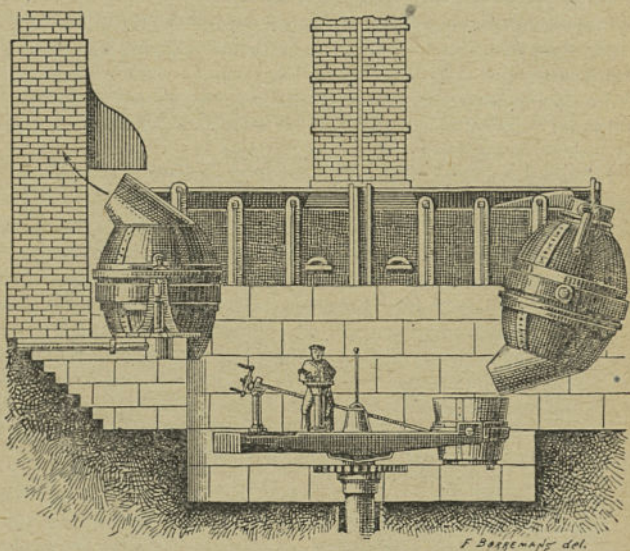


Fig. 58. — Atelier de cornues Bessemer; deux phases de la fabrication de l'acier.

Gilchrist, que la solution de ce problème si important fut enfin trouvée; ils reconnurent que l'obstacle qui s'oppose à la déphosphoration de la fonte c'est l'acidité de la scorie et du revêtement intérieur de la cornue, c'est-à-dire la présence, dans ces matières, de la silice  $\text{SiO}_2$  qui joue à haute température le rôle d'un acide énergique; alors, si le métal contient du phosphore, cet élément doit forcément rester finalement dans le métal, comme le montre d'ailleurs l'expérience.



En effet, en supposant que le phosphore, sous l'action de l'air insufflé, puisse s'oxyder et former de l'acide phosphorique, et qu'enfin ce dernier se combine à l'oxyde de fer, le phosphate de fer, ainsi créé, serait décomposé par la silice avec formation de silicate de fer et d'acide phosphorique qui serait réduit à son tour ultérieurement par l'oxyde de carbone lorsque ce gaz commencerait à apparaître; le phosphore serait donc libéré et se réincorporerait dans le bain. Le remède s'aperçoit maintenant : il faut mettre le bain en présence d'une base capable de capter la silice au fur et à mesure de son apparition, afin de l'empêcher de se porter sur les composés oxydés du phosphore.

En résumé, les deux conditions importantes pour réussir la déphosphoration sont donc de garnir la cornue d'un revêtement basique et de maintenir le laitier en réaction basique. Dans ce but, le revêtement est constitué par une sorte de *pisé de dolomie*<sup>1</sup> calcinée, pulvérisée et agglomérée avec du goudron; pendant l'affinage, on jette dans la cornue de la chaux cuite, chaude, afin de maintenir la basicité du laitier, scorifier l'acide phosphorique et ménager l'attaque de l'enveloppe.

Les scories produites, dites scories Thomas ou *scories de déphosphoration* constituent, une fois pulvérisées, un engrais très riche en phosphate de chaux et très apprécié pour la culture intensive des céréales. Cet exemple montre quelle heureuse et profonde répercussion peut avoir sur le bien-être et le développement de l'humanité la simple découverte d'un chercheur génial : une énorme quantité de minerai dédaigné autrefois, se trouve acquérir tout à coup, comme par magie, une valeur inestimable; d'immenses usines s'édifient dans lesquelles des centaines de millions de francs sont engagés et trouvent leur rémunération, des multitudes d'ouvriers sont appelés à y utiliser leurs bras, des cités surgissent où viennent s'installer des banques, des magasins d'alimentation et toutes sortes de corps de métiers, tandis qu'au loin, dans des campagnes jadis désertes

1. La dolomie est un carbonate double de chaux et de magnésie : sous l'action de la chaleur, il y a départ de gaz carbonique et libération des bases chaux et magnésie.



et improductives, le sol pauvre est maintenant fécondé par l'engrais de l'usine et se couvre de luxuriantes moissons nourrissant les travailleurs des villes et des champs.

4<sup>e</sup> MÉTHODE. — *Procédés Martin Siemens.* — Ces procédés peuvent être envisagés à un double point de vue, soit d'après les *principes* théoriques appliqués, soit d'après la disposition générale des *appareils* employés. Ces derniers conservant toujours la même disposition, les méthodes de travail ne varieront que par la différence des principes appliqués qui sont au nombre de deux et conduisent à trois méthodes, savoir :

1<sup>o</sup> Méthode par *dilution du carbone.* — La fonte amenée à l'état liquide, est additionnée d'une quantité déterminée de fer doux ; le carbone se répandant, ainsi d'ailleurs que les impuretés primitives, dans une masse plus grande de fer, on arrive à obtenir un acier de composition désirée. Cette méthode, dite encore *aux riblons*, avait été indiquée autrefois par Réaumur.

2<sup>o</sup> Méthode *au minerai.* — Elle consiste à additionner progressivement la fonte liquide de quantités dosées de *minerai de fer* ; celui-ci, par son oxygène, détermine l'affinage, c'est-à-dire la combustion du carbone de la fonte.

3<sup>o</sup> *Méthode mixte.* — On conçoit la possibilité de combiner les deux méthodes précédentes dans telle proportion que l'on voudra.

En outre, on peut, comme au Bessemer, pratiquer la déphosphoration ou bien traiter des fontes non phosphorées et, par conséquent, opérer avec revêtement basique ou acide, ou même neutre, selon les cas.

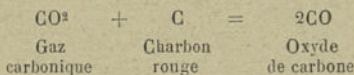
*Appareils employés.* — L'idée qui appartient en propre à M. Martin, ancien officier d'artillerie, a été de chercher à obtenir de l'acier fondu sur sole en grandes masses par le procédé indiqué autrefois par le physicien Réaumur. L'appareil employé est donc comparable à celui usité pour le puddlage, mais avec cette différence essentielle que le métal affiné doit être amené jusqu'à l'état liquide. Il se présente alors deux difficultés considérables :

A) L'obtention d'une température très élevée maintenue longtemps dans une masse considérable <sup>1</sup>.

B) La fabrication d'une sole en matériaux assez réfractaires pour résister à l'action corrosive du bain. La sole, placée à une hauteur assez grande (sole surélevée), est formée de plaques épaisses de fonte sur lesquelles on étend un revêtement constitué soit par des briques siliceuses (revêtement acide), soit par des briques de dolomie ou de magnésie (revêtement basique). Cette sole peut recevoir jusqu'à 40 tonnes de métal dans les grandes installations et permet de couler d'énormes pièces, telles que des arbres de transatlantiques, des coupoles de forts blindés, etc. Il existe aussi des soles mobiles qui permettent un brassage automatique de la matière.

**Mode de chauffage Siemens.** — Quant au mode de chauffage de la sole, il ne fallait pas songer à utiliser la chaleur produite directement par un combustible solide brûlant sur grille; car cette combustion trop incomplète donne le maximum de température non dans l'appareil d'utilisation, là où on en a besoin, mais dans le foyer ou appareil de production de la chaleur.

Martin eut alors l'idée d'adopter le système de chauffage imaginé par Siemens, et qui consiste à disposer le charbon (coke) en couche épaisse sur une grille inclinée avec arrivée réglable de l'air strictement nécessaire; il se produit ainsi, près de la grille, où l'air (air primaire) est en excès, du gaz carbonique, lequel, montant à travers le charbon incandescent, est ramené par celui-ci à l'état d'oxyde de carbone, selon la réaction déjà indiquée antérieurement :



C'est ce dernier gaz combustible qui, étant ensuite mélangé

1. Il faut dire que, jusqu'à l'invention de Martin, on n'était jamais parvenu à fondre l'acier sur sole avec les dispositifs adoptés. On ne savait réaliser la fusion de l'acier qu'au creuset.

à une nouvelle quantité d'air (air secondaire), puis conduit sur les matières à chauffer et enflammé, donnera une flamme à température très élevée. Tel est le principe du *gazogène Siemens* (fig. 59).

Cet inventeur eut encore une autre idée heureuse, éminemment pratique, celle du chauffage préalable des constituants (air et gaz CO) du mélange combustible au moyen de la chaleur

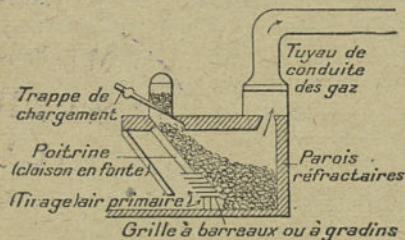


Fig. 59. — Gazogène Siemens.

contenue encore dans les produits brûlés et qu'on laisse généralement se perdre par la cheminée; il suffit de faire circuler ces produits brûlés, avant leur échappement définitif dans l'atmosphère, dans un appareil garni de briques réfractaires

qui emmagasinerà cette chaleur et pourra prendre par suite, avec raison, le nom de *récupérateur* (Voir antérieurement, *haut fourneau*).

Les avantages considérables que procure l'emploi d'un combustible sous forme gazeuse peuvent se résumer dans l'énoncé des faits suivants :

1<sup>o</sup> Réalisation d'une combustion quasi complète par la possibilité de régler la quantité d'air nécessaire et la multiplication des points de contact du gaz combustible et de l'air comburant par suite de leur mélange intime.

2<sup>o</sup> Possibilité du chauffage préalable des gaz permettant d'atteindre sûrement leur point d'inflammation, d'où encore une nouvelle circonstance favorable à la combustion complète.

3<sup>o</sup> Possibilité de la récupération d'une bonne partie de la chaleur des gaz brûlés.

Il résulte de ces considérations que le chauffage Siemens, avec gazogène et récupérateur, permet d'obtenir économiquement une flamme propre, très chaude et facilement réglable, avec laquelle on peut provoquer la fusion de l'acier sur sole,



Ces prévisions de Martin furent confirmés par l'expérience d'une manière éclatante.

L'ensemble d'une installation Martin Siemens comprendra donc trois parties essentielles, savoir :

- A) Le *gazogène* ou générateur de gaz combustible ;
- B) Les *récupérateurs* ou régénérateurs de chaleur ;
- C) La *sole*, appareil d'utilisation de la chaleur où a lieu la combustion du mélange gazeux. Il existe des gazogènes disposés

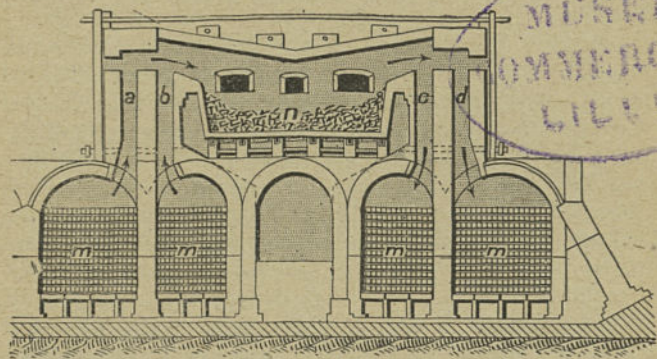


Fig. 60. — Four Martin-Siemens.

de façon qu'on puisse extraire les produits ammoniacaux qui se forment pendant la combustion primaire (gazogène Mond).

La sole Martin est couverte par une voûte sur les côtés de laquelle débouchent les orifices qui amènent l'air et le gaz combustible, après que ceux-ci ont passé à travers les chambres de récupération. Dans ces chambres sont superposées des briques qui étaient autrefois placées en chicane les unes au-dessus des autres ; mais cette disposition était peu favorable pour l'enlèvement des poussières ; on lui préfère actuellement celle à conduits verticaux. La flamme *bombarde* en quelque sorte les matières déposées sur la sole ; les gaz brûlés sortent ensuite indistinctement par les deux autres chambres (il y en a donc, quatre en tout, deux de chaque côté) qu'ils échauffent jusqu'à

l'incandescence. On intervient périodiquement les courants gazeux par un jeu de valves appropriées (fig. 60). Le fonctionnement est entièrement analogue à celui qui a été déjà exposé à propos des hauts fourneaux.

**Marche des opérations.** — 1<sup>o</sup> *Méthode aux riblons*, ou par dilution du carbone. La sole ayant été amenée au rouge blanc, on y dépose les gueuses de fonte; une fois que celles-ci ont pris l'état liquide, on ajoute des morceaux de fer ou d'acier, des déchets de ferrailles (riblons) et même quelquefois du fer puddlé.

Les fontes les meilleures pour le traitement acide sont les blanches légèrement truitées. L'affinage est poussé lentement jusqu'à oxydation complète du silicium, mais il est arrêté avant combustion totale du carbone afin d'éviter d'oxyder trop de fer. On ajoute les riblons par doses mesurées de 2 à 300 kilogrammes jusqu'à obtention de la nature d'acier désiré, la marche de l'opération étant suivie de près au moyen de prises de métal. On termine par une addition de spiegel ou de ferromanganèse, soit dans le four, soit dans la poche de coulée.

2<sup>o</sup> *Méthode au minerai*. — On charge la sole de fonte et de déchets d'acier, au bout de trois à quatre heures, lorsque la fusion est bien franche on ajoute au bain une quantité calculée de minerai riche, non pas en une fois, ce qui produirait un bouillonnement et un soulèvement tumultueux de toute la masse, mais par petites portions de 100 à 200 kilogrammes. Chacune de ces additions provoque une ébullition par suite du départ des gaz  $\text{CO}_2$  et  $\text{CO}$  formés par l'union du carbone de la fonte avec l'oxygène du minerai. La décarburation est terminée quand le dégagement d'oxyde de carbone se ralentit; on effectue alors une prise d'essai pour s'assurer du résultat obtenu et l'on procède à l'addition finale de fonte manganésée.

3<sup>o</sup> *Marche en déphosphoration*. — Tandis qu'au Bessemer basique il faut employer des fontes notablement riches en phosphore (2 à 3 pour 100), afin que la combustion de ce métal-loïde produise la quantité de chaleur capable d'assurer la fluidité nécessaire du bain, au contraire, le four Martin peut admettre des fontes peu phosphorées par la simple raison que



l'agent calorifique est extérieur au bain lui-même. Il faudra naturellement remplacer la sole acide siliceuse par un garnissage basique de dolomie et l'on pourra opérer, soit par le procédé aux riblons, soit par celui au minerai, en variant en conséquence la proportion de fonte; on projette des pelletées de chaux vive chaude pour scorifier le phosphore.

On peut obtenir au four Martin, basique ou même neutre (garnissage à l'oxyde de chrome), des aciers extra-doux tout à fait comparables à des fers fondus, mais le procédé est plus coûteux que celui de Bessemer.

**Soufflures de l'acier moulé.** — Une très grande difficulté qu'on rencontre dans le moulage de l'acier, c'est la présence, à l'intérieur du métal refroidi, de cavités dites *soufflures* remplies généralement d'hydrogène ou d'oxyde de carbone. Ces vides nuisent à la résistance d'une pièce de métal et on cherche à les éviter le plus possible. L'expérience a montré qu'on arrivait à leur suppression quasi-complète en ajoutant au bain d'acier, au moment de la coulée, certains corps, notamment le silicium et aussi l'aluminium ou le carborundum (carbure de silicium). Ces réactifs sont ajoutés en même temps que le ferromanganèse ou plutôt sous forme de ferro-silicium-manganèse (silico-spiegel) ou de ferro-aluminium.

La possibilité d'élaborer l'acier en masses considérables exemptes de soufflures a permis de donner une grande extension à la fabrication des *aciers moulés*, bien plus résistants que la fonte; on peut ainsi obtenir, en un temps relativement court, de grosses pièces presque finies, ne nécessitant plus que fort peu de travail mécanique pour être complètement terminées, telles que les grands étambots de navires, les pièces du pont Alexandre III, à Paris, etc.

Un autre procédé très efficace aussi pour la suppression des soufflures consiste dans la compression du métal pâteux, soit par corroyage ou laminage, soit par forgeage au marteau-pilon ou sous l'action de presses hydrauliques puissantes dont quelques-unes peuvent développer une force de contrainte de plusieurs milliers de tonnes; nous reviendrons ultérieurement sur ce sujet.



**Propriétés et usages de l'acier.** — L'acier contient de 0,5 à 1,5 pour 100 de carbone dont la présence a pour effet, selon une règle généralement vérifiée, d'abaisser la température de fusion de la substance principale; effectivement, tandis que le fer pur ne prend la fluidité parfaite que vers 1600°, l'acier fond vers 1400°. En se solidifiant, il éprouve une diminution de volume, un *retrait* assez considérable d'où la formation, dans le lingot, d'un vide axial et supérieur appelé *retassure* qui est très gênant dans la fabrication. On peut forger l'acier et même le souder si la proportion de carbone n'est pas trop considérable. A froid, c'est un métal résistant, flexible et élastique.

**Trempe.** — Une propriété importante de l'acier est d'acquérir une grande dureté par la *trempe*. D'ailleurs, toutes les qualités de ce métal dépendent essentiellement de la vitesse plus ou moins grande avec laquelle il a été refroidi depuis le rouge clair jusqu'à la température ordinaire.

A) Si le refroidissement s'opère très lentement, on a un métal qui possède des propriétés très analogues à celles du fer lui-même : on peut le limer, le couper, le tourner, l'aplatir sous le marteau, le travailler d'une manière quelconque aussi aisément que le fer doux lui-même.

B) Si, au contraire, le refroidissement a été rapide, comme par exemple en immergeant brusquement l'acier rougi au feu dans un liquide froid, on obtient un métal dit *acier trempé* qui est très dur, car il raye le verre, mais très fragile; il se casse sous le moindre choc et on ne peut le travailler autrement que par usure sur une meule. Ce durcissement n'est d'ailleurs obtenu que si l'acier a été préalablement porté au moins à 750° ou 800° environ; dans le cas contraire, le métal ne durcit pas par la trempe.

C) Si l'on réchauffe avec précaution l'acier trempé, et qu'on le laisse ensuite refroidir plus ou moins lentement, il perd une partie des propriétés spéciales que lui avait fait acquérir la trempe : on a alors l'acier *recuit* encore élastique et suffisamment dur, mais bien moins cassant.

Ces phénomènes ne peuvent s'expliquer que par l'existence d'états différents de l'acier à haute et à basse température, états qui exigent un temps appréciable pour se transformer l'un dans l'autre.

On peut d'ailleurs vérifier directement par l'expérience les changements d'état du fer en passant d'une température à une autre; en voici deux exemples très simples.

1<sup>re</sup> EXPÉRIENCE. — Suspensions un petit clou en fer à un fil de cuivre un peu fort, mobile à sa partie supérieure, à la manière d'un pendule; chauffons-le fortement au moyen d'un bec de Bunsen et approchons-en un aimant; le fer n'est pas attiré (fig. 61), il a donc perdu sa propriété magnétique; ce résultat ne peut être atteint que si la température du clou est au moins à 740°. Maintenons ensuite l'aimant en place, mais éteignons le bec ou éloignons-le; l'acier, ou le fer se refroidit et, à un certain moment, il est vivement attiré par l'aimant. Cette expérience très frappante montre avec évidence un changement dans l'état du métal.

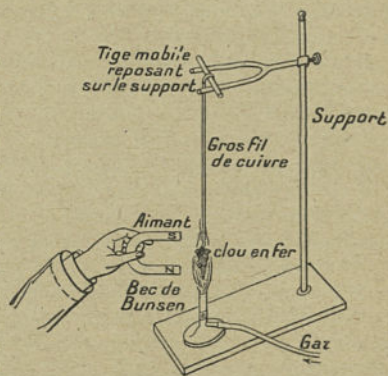


Fig. 61. — Disparition du magnétisme du fer à chaud.

2<sup>e</sup> EXPÉRIENCE. — Chauffons un fil de fer ou d'acier en opérant dans une salle obscure, de façon à mieux apprécier les changements dans l'éclat du métal; laissons celui-ci se refroidir lentement vers la température de 690°-700°, c'est-à-dire un peu au-dessous de celle où il réacquiert son magnétisme, nous observerons une augmentation temporaire dans l'éclat du fil, ce qui indique le dégagement d'une certaine quantité de chaleur analogue à celle qui apparaît dans les changements d'état physique; ce phénomène est connu sous le nom de *recalescence* de l'acier; il ne dure que quelques instants et est accompagné d'un arrêt momentané dans la contraction du métal.

Il y a donc au moins trois variétés de fer que les métallurgistes distinguent par les lettres  $\alpha$  (alpha),  $\beta$  (bêta),  $\gamma$  (gamma). Le fer  $\alpha$  est la variété ordinaire, telle que nous la connaissons à froid, douée



de propriétés magnétiques ; elle cesse d'exister à la température critique de transformation  $740^{\circ}$  et se transforme en la variété  $\beta$  non magnétique. On a trouvé qu'il existe une autre variété, le fer  $\gamma$ , qui se forme vers  $850^{\circ}$  et succède ainsi au fer  $\beta$ . Le carbone est soluble dans le fer  $\gamma$  et insoluble dans les deux autres.

Ceci posé, il est évident que, si l'on refroidit brusquement l'acier chauffé, c'est-à-dire si on le *trempe* dans un corps froid, l'eau par exemple, le métal n'aura pas le temps suffisant pour opérer sa transformation de fer  $\gamma$  ou  $\beta$  en fer  $\alpha$  et il gardera quelque chose des propriétés de la première variété.

Il y a plus. L'acier contient du carbone, mais ce métalloïde n'existe pas non plus sous le même état à haute et à basse température. Voici rapidement et simplement résumé le résultat des études qui ont été entreprises sur ce sujet.

A) Supposons d'abord de l'acier froid, *non trempé*, donc qui a été refroidi très lentement ; il contient du fer à l'état de variété  $\alpha$  et la plus grande partie de son carbone à l'état de combinaison chimique de formule  $Fe^3C$  ; cette combinaison est appelée *cémentite* parce qu'elle prend naissance en abondance dans la *cémentation* des aciers et, à cause de cela, son carbone s'appelle encore carbone de cémentation, carbone de recuit, carbone combiné<sup>1</sup>. La masse n'est pas homogène : elle est comme subdivisée confusément en très petites cellules cloisonnées par de la cémentite et contenant d'infimes lamelles microscopiques juxtaposées de fer  $\alpha$  et de cémentite.

B) Chauffons progressivement cet acier non trempé, le carbure  $Fe^3C$  n'éprouve pas d'abord de modification particulière, mais, au-dessus du premier point critique de transformation, soit  $690^{\circ}$ - $700^{\circ}$  environ, il perd sa stabilité et se dissocie en fer  $\alpha$  et en carbone libre ; en chauffant un peu plus, vers  $740^{\circ}$ , le fer  $\alpha$  magnétique se transforme en fer  $\beta$  non magnétique ; enfin vers  $850^{\circ}$ , le fer  $\beta$  se transforme en fer  $\gamma$  non magnétique mais qui a la propriété de dissoudre le carbone : celui-ci fond donc dans le fer, s'y diffuse uniformément et l'on obtient ainsi une masse *homogène* dite *martensite* (en l'honneur du professeur Martens).

C) *Trempe*. — Refroidissons rapidement cet acier préalablement chauffé à  $850^{\circ}$  afin de le saisir dans son état martensitique, l'y figer en quelque sorte ; nous empêcherons les transformations de se pro-

1. La fonte blanche, ou fonte d'affinage, peu riche en carbone (2,5 à 3,5 pour 100) contient beaucoup de cémentite ; tandis que la fonte grise ou de moulage (3,5 à 4,5 pour 100) contient du graphite.



duire, parce que nous ne leur en laissons pas le temps et nous arriverons à une sorte d'état contraint qui est l'acier trempé ; celui-ci contient son carbone à l'état dissous physiquement et non combiné chimiquement, aussi l'appelle-t-on encore *carbone de trempe*. La masse a conservé son homogénéité ; elle est très dure et très fragile, à cause de l'état de contrainte.

D) *Recuit*. — Réchauffons doucement l'acier trempé, l'état de contrainte tendra à s'atténuer progressivement en permettant aux molécules de se replacer dans les conditions favorables de retour à un véritable équilibre stable. Le fer tendra à revenir à l'état  $\alpha$  ; le carbone de trempe disséminé sortira de l'état de solution et se combi-nera à une partie du fer  $\alpha$  pour reformer de la cémentite ; il suffira ensuite de laisser refroidir.

Ce *recuit* de l'acier aura amoindri, plus ou moins, les effets de la trempe et permettra d'obtenir les variétés de métal les plus diverses selon le genre de travail que l'on veut exiger de lui.

**Pratique de la trempe et du recuit.** — D'après ce qui précède, on voit que les opérations successives à effectuer pour tremper l'acier sont les suivantes : 1<sup>o</sup> chauffage ; 2<sup>o</sup> refroidissement ; 3<sup>o</sup> recuit ; 4<sup>o</sup> second refroidissement.

1<sup>o</sup> **Chauffage.** — L'acier doit être porté au moins vers la température de 800° environ au rouge cerise clair ; mais cette opération, qui paraît si simple, doit cependant être effectuée avec les plus grandes précautions, afin d'éviter la *saisie* et la *surchauffe* avec leurs accidents consécutifs ;

A) Il ne faut pas *saisir* trop brusquement l'acier par l'action de la chaleur. Quand on veut réchauffer un lingot (on opère dans des fours spéciaux), il faut procéder très lentement, surtout dans l'intervalle de 0° à 400°, car, vers 300°, l'acier possède un maximum de fragilité, un minimum de ductilité, en vertu desquels une chauffe brusque à 600° des parties externes produirait des inégalités de dilatation avec l'intérieur et un décollement de celui-ci sous forme de fêlures dites *tapures*.

B) Si l'acier est *surchauffé* assez longtemps en présence de l'air, à une température très supérieure au rouge cerise clair, vers 1000° par exemple ; le métal perd sa consistance, se brise au moindre effort ; il se forme intérieurement des grains cris-

tallins à facettes planes avec interposition d'oxyde de fer : l'acier est alors dit *brûlé* et à peu près inutilisable.

2° **Refroidissement.** — **Trempe.** — Pour refroidir rapidement un objet, il faut non seulement le mettre en contact avec des corps à température plus basse que lui, mais il faut encore que ceux-ci puissent facilement emporter la chaleur. Cet échange calorifique peut se produire de deux manières : par *conduction* ou par *convection* :

A) *Conduction* (on dit encore *conductibilité*). C'est la propriété que possède la matière, de laisser plus ou moins bien progresser la chaleur dans son intérieur; les métaux sont bons conducteurs; l'eau, l'huile et autres liquides non métalliques sont très mauvais conducteurs.

Si donc l'on effectue le refroidissement dans le *mercure* ou même dans l'*étain*, le *plomb* fondus, on aura une trempe très dure; tandis que la même opération effectuée dans l'eau donnera une trempe plus douce, d'autant plus qu'il intervient encore ici un phénomène dit de *caléfaction* en vertu duquel le métal rouge, au contact de l'eau, s'entoure d'une couche de *vapeur* mauvaise conductrice qui empêche tout contact immédiat avec le liquide. D'après cela, la trempe sera évidemment plus dure si l'on promène l'acier dans le bain froid. De même, la présence dans l'eau de sel marin, d'acide sulfurique ou de telles autres substances dissoutes qui *augmentent* la *conductibilité* ou *diminuent* la *caléfaction*, donnera lieu évidemment à la production d'une trempe plus dure.

B) *Convection*. — C'est le transport ou convoyage de la chaleur, non par sa vertu propre, mais par le mouvement même de la matière chauffée; si l'on transporte une masse d'eau chaude d'un endroit à un autre, on emporte *ipso facto* la chaleur qui y est contenue. Si donc on plonge un morceau de métal rouge dans un liquide, les portions adjacentes à celui-ci s'échauffent à son contact, prennent une densité plus faible, s'élèvent et sont remplacées par des portions plus froides qui s'échauffent à leur tour, et ainsi de suite, en emportant la chaleur du métal. On s'explique ainsi que l'eau, quoique mauvaise conductrice, puisse refroidir le métal; or il est évident



que le refroidissement par convection sera facilité par la *fluidité* du liquide et entravé, au contraire, par une grande *viscosité*. On s'explique ainsi les effets spéciaux de la *trempe à l'huile*; mais ce procédé tend à être délaissé, parce qu'il peut donner lieu à des accidents provenant des projections brûlantes possibles tout autour du bain, au moment où on y plonge le métal incandescent.

D'après ce qui précède on se rend compte que, en fait de trempe, il n'y a pas à proprement parler de secrets se transmettant mystérieusement de génération en génération. Ce qu'on appelle un-*tour de main* en industrie n'est le plus souvent que l'application précise du meilleur mode opératoire, lequel a été découvert, soit par le tâtonnement séculaire et aveugle des praticiens, soit par l'étude rationnelle et scientifique de la question. On peut en dire autant des soi-disant *recettes* plus ou moins répugnantes, telles que la trempe dans le fumier ou les urines, etc., qui n'ont pas de vertus propres, spécifiques, et qui n'agissent que conformément aux lois physiques précédemment exposées.

3° **Recuit.** — Le recuit consiste à réchauffer l'acier entre 200 à 300° environ, puis à l'abandonner à un refroidissement lent ou rapide (eau froide), selon l'effet à obtenir. On juge *pratiquement* du degré de recuit par la coloration superficielle que prend le métal sous l'action de la chaleur; on peut distinguer un grand nombre de couleurs successives; nous nous bornerons aux suivantes :

Jaune (220° à 250° environ).	{ Pour aciers de coutellerie et de chirurgie : couteaux, canifs, rasoirs, lancettes; et aussi pour outils à travailler le fer : burins, etc.;
Rouge pourpre (250° à 280° environ).	{ Pour outils à travailler le bronze, le laiton et le bois : ciseaux, rabots, haches, bèches, etc.
Bleu (280° à 310° environ).	{ Pour outils soumis à des chocs ou des déformations : scies, ressorts, épées, tarières, outils à forger, etc.

Ces subdivisions n'ont rien d'absolu; il y a lieu, dans chaque



cas particulier, d'apprécier les conditions les plus favorables à réaliser; c'est, comme l'on dit, une question d'espèce. S'agit-il, par exemple, de confectionner une hache, c'est-à-dire un outil qui doit avoir du *tranchant*, donc de la dureté, et en même temps une résistance à la rupture par chocs, on lui donnera un recuit moyen, suffisant pour lui faire perdre l'extrême fragilité que lui avait communiquée la trempe, mais insuffisant pour l'adoucir.

**Essais mécaniques ou autres.** — Tout acier, avant d'être employé à l'usage auquel on le destine, doit subir un examen destiné à contrôler s'il possède bien les qualités requises. La véritable méthode d'investigation est celle des essais mécaniques à froid et à chaud par traction, torsion, pliage, chocs, tel que nous les avons signalés antérieurement à propos du fer. Ces essais peuvent être très utilement complétés par l'observation microscopique de la surface préalablement polie, puis soumise à l'influence de diverses actions abrasives ou chimiques. Cette méthode d'investigation, dite *métallographie microscopique*, est excessivement précieuse et se répand de plus en plus; elle permet en quelque sorte d'effectuer l'analyse immédiate de ces substances si complexes que sont les aciers. Les figures 62 à 63 donnent une idée des renseignements intéressants que l'on peut obtenir par cette méthode.

Comme le fer, l'acier peut prendre, par forgeage et laminage à chaud, une structure fibreuse, tendineuse, qui correspond à une haute résistance et qui se révèle par l'aspect de la cassure pratiquée sur un échantillon ou *éprouvette*. Cette texture favorable finit par disparaître à la longue sous l'action de chocs violents ou de vibrations répétées, et fait place à un aspect grenu et à une résistance très affaiblie.

La charge de rupture, qui est d'une quarantaine de kilogrammes par millimètre carré de section pour le fer et les aciers extra-doux, monte à 60 kilogrammes pour les aciers durs et s'élève jusqu'à 80 et 100 kilogrammes pour les aciers très durs, mais l'allongement centésimal avant rupture se trouve, par contre, fort amoindri, ou, si l'on veut, la *rigidité* est accrue.

Ces propriétés expliquent pourquoi l'acier tend de plus en plus à remplacer le fer dans la construction d'une foule d'ouvrages tels que ponts métalliques, essieux de locomotives, rails, blindages, etc. On obtient ainsi des objets plus légers et fournissant une plus longue carrière par suite de leur plus grande résistance. C'est ainsi qu'avec les vitesses considérables

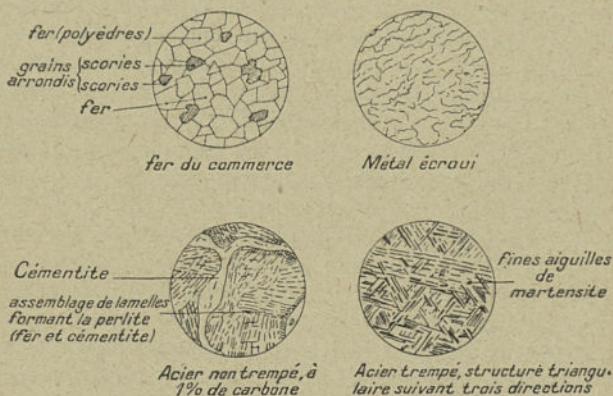


Fig. 62 à 65. — Métallographie microscopique, ou observation microscopique de la surface des métaux.

de parcours réalisées maintenant sur les voies ferrées et le notable accroissement de poids des locomotives et des wagons, il serait impossible d'employer, comme autrefois, des rails fabriqués avec un métal aussi mou, relativement, que le fer doux. Une roue en acier, de wagon ou de locomotive, fournira sans peine 300.000 kilomètres de parcours, là où elle aurait été mise hors d'usage sur un trajet six fois moindre, si elle avait été en fer. De même, les plaques actuelles de blindage pour navires de guerre assurent une protection tout aussi efficace avec une épaisseur moitié moindre que le fer et une diminution du poids de la coque.

**Aciers spéciaux ou complexes.** — Ce sont là des aciers dans lesquels on a incorporé une certaine quantité d'un



second métal : chrome, nickel, tungstène, molybdène, vanadium, manganèse..., qui communique à l'alliage des propriétés spéciales et nouvelles. Ces aciers peuvent tous s'obtenir au creuset, chauffé par gazogène ou électriquement, par l'addition, au métal affiné, des fontes spéciales contenant les métaux voulus. L'acier-nickel peut aussi s'obtenir aisément sur la sole Martin par l'introduction, vers la fin de l'opération, de nickel pur sous forme de fragments préalablement chauffés. La fonte traitée doit être absolument dépourvue de soufre. L'acier chromé, au contraire, serait d'une réalisation pénible dans les appareils Bessemer ou Martin, par suite de la trop grande oxydabilité du chrome et de la difficulté d'éliminer son oxyde à l'état de silicate dans la scorie. Voici les propriétés les plus marquantes de quelques-uns de ces aciers spéciaux.

**Acier chromé.** — Cet acier très dur et très homogène sert à la confection d'obus, de cuirassements et d'outils spéciaux pour le travail des métaux, limes, etc.

**Acier-nickel.** — Ce métal complexe est doué d'une grande élasticité alliée à une haute résistance à la rupture ; aussi, est-il employé pour la fabrication de châssis d'automobiles, axes, essieux, engrenages, arbres moteurs, pièces diverses d'aéroplanes, c'est-à-dire de tous organes mécaniques soumis à des chocs, à des vibrations violentes et répétées. L'acier à 25 pour 100 de nickel est remarquable par l'absence de propriétés magnétiques, ce qui permet de l'employer à la confection des frettes destinées à maintenir et consolider les *inducteurs volants* des grands générateurs de courants électriques alternatifs et leur permet de résister à l'action de la force centrifuge. L'acier à 35 pour 100 de nickel constitue le métal *invar* ; M. Guillaume, son inventeur, l'a ainsi appelé parce qu'il lui a reconnu une dilatation insensible dans un grand intervalle de température ; cet acier garde donc une longueur invariable et est précieux pour la confection de règles géodésiques, de balanciers pour l'horlogerie, de soupapes de moteurs, etc. Enfin l'acier à 46 pour 100 de nickel, appelé *platinite*, possède la même dilatation que le verre et peut alors se substituer économiquement au *platine* dans la fabrication



des lampes à incandescence (pour les fils qui traversent le verre de l'ampoule), ou du *verre armé*, etc. Il existe encore d'autres variétés intéressantes d'aciers au nickel, lesquelles, pour la plupart, ont été découvertes et soumises à l'attention des ingénieurs par M. Guillaume, le savant physicien du Bureau international des poids et mesures.

**Aciers au manganèse.** — Pour de faibles teneurs en manganèse, l'acier n'offre rien de particulier à signaler, si ce n'est que, pour une proportion de 2 à 4 pour 100, la fragilité du métal devient tellement grande qu'on peut le pulvériser dans un mortier. Il a donc semblé inutile, pendant longtemps, de poursuivre les recherches en augmentant la quantité de manganèse ; mais l'on s'aperçut plus tard que, si l'on force la dose jusqu'à 10 et même 20 pour 100, on aboutit à un acier qui a la propriété imprévue de s'adoucir par la trempe et de reprendre sa dureté par chauffage au vif. Les lingots de cet acier à haute teneur en manganèse sont à peu près exempts de soufflures et fournissent un métal étonnamment résistant au choc et à l'usure ; aussi l'emploie-t-on pour la confection d'outils qui n'ont pas besoin d'être trempés et tellement durs qu'on ne peut les ajuster qu'à la meule d'émeri ou de carborundum.

**Aciers au tungstène.** — **Aciers rapides.** — Le tungstène entre, concurremment parfois avec le chrome, le vanadium, le manganèse, dans la composition d'un acier pour outils dit *acier rapide*, parce qu'on peut le faire travailler en allure beaucoup plus accélérée que l'acier ordinaire. On sait qu'un outil d'acier qui est employé à percer, à raboter, qui enlève des parcelles de métal, s'échauffe beaucoup et éprouve de ce fait un recuit partiel qui lui fait perdre la plus grande partie de sa dureté ; cet effet nuisible, contraire à celui de la trempe, peut être appelé *détrempe*. L'acier rapide, au tungstène, possède la propriété précieuse de ne pas se détremper, même s'il est porté jusqu'à 700°. Le tungstène, à la teneur de 6 à 12 pour 100, communique à l'acier une telle dureté que, par simple refroidissement à l'air, sans aucune trempe, on obtient un métal capable d'entamer, d'abraser, même l'acier au chrome trempé.

Les avantages de tels aciers sautent immédiatement aux yeux ; une usine qui les emploie peut travailler deux ou trois fois plus vite, par exemple, et les outils enlever cinq à dix fois plus de métal dans le même temps (le débit « en énergie » ou « travail » croît plus vite que la vitesse, théoriquement comme le carré de cette vitesse ; si celle-ci triple, par exemple, l'outil travailleur « explore » une surface métallique trois fois plus grande et en même temps l'incise par un choc trois fois plus fort). La puissance de production de l'établissement se trouve donc notablement accrue pour le même emplacement, le même loyer, le même nombre de machines et d'ouvriers, d'où un abaissement possible du prix de revient, la possibilité d'enlever de nouvelles affaires, etc.

**Propriétés magnétiques des aciers.** — On peut se proposer, dans la fabrication des matériaux magnétiques, deux buts diamétralement opposés : soit d'obtenir un métal de grande *perméabilité* magnétique avec faible *hystérésis* et force *coercitive*<sup>1</sup> négligeable, soit un métal ayant une force coercitive considérable. Le premier cas est celui des *inducteurs* des machines dynamo-électriques et des *noyaux* d'électro-aimants, construits avec un fer aussi doux, aussi pur que possible, qui s'aimante aisément et instantanément, mais peut perdre son état magnétique tout aussi facilement lorsqu'il n'est plus soumis à l'influence qui le lui a fait acquérir. Le second cas est celui des aimants *permanents* que l'on construit en acier dur, au manganèse, au chrome et surtout au *tungstène* qui donne les meilleurs aciers à aimants [aimants d'Allevard (Isère) en acier au tungstène]. La force coercitive, l'hystérésis croissent avec la proportion en carbone dans l'acier, tandis que la perméabilité magnétique décroît.

**Electro-métallurgie.** — C'est l'ensemble des procédés d'élaboration des métaux par l'intervention de l'électricité. Cet agent physique peut opérer de deux façons : soit simplement en raison de la haute élévation de température qu'il provoque

1. Pour l'explication et la compréhension de ces termes scientifiques, voir *Cours de physique*, par M. Métral ; Masson et C<sup>ie</sup>, éditeurs, à Paris.



dans les substances qu'il traverse, soit par une action propre dissociative, dite *électrolyse* ; comme dans la préparation de l'aluminium que nous nous contenterons seulement de signaler.

En ce qui concerne la *sidérurgie*, c'est-à-dire la fabrication du fer et de ses dérivés, l'électricité n'a guère été utilisée que d'après l'effet calorifique élevé qu'elle détermine. Cet effet peut

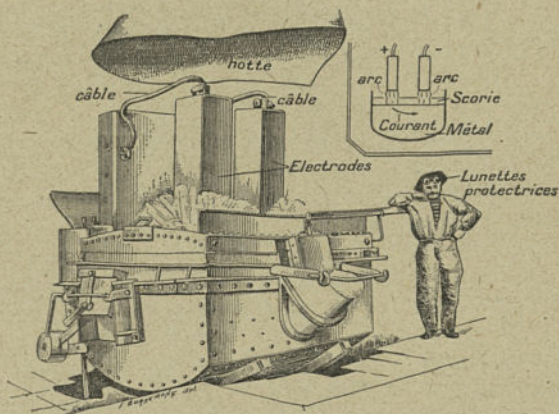


Fig. 66. — Four oscillant Héroult pour l'élaboration du fer et de ses dérivés, au moyen de l'énergie électrique

être obtenu de trois manières correspondant chacune à un genre particulier de fours : fours à *résistance*, à *arc*, à *induction*.

1<sup>o</sup> Dans les fours à résistance, le courant électrique est amené par une grosse électrode en charbon, traverse la charge de fonte ou d'acier répartie dans des canaux étroits et ressort par une autre électrode. Le métal, quoique conducteur, résiste plus ou moins au passage de l'électricité, s'échauffe jusqu'à l'incandescence, fond et s'affine.

2<sup>o</sup> Dans les fours à arc, on fait jaillir, entre deux électrodes de charbon, l'arc électrique qui réalise la plus haute température que l'homme sache actuellement produire (3500° à 4000°). Un effet thermique aussi puissant n'est cependant pas



absolument nécessaire pour l'affinage des métaux ferreux et constitue plutôt un surcroît de dépense inutile.

Le four oscillant Héroult (fig. 66) participe du premier système (résistance) et du second (arc). Deux grosses électrodes en charbon placées verticalement arrivent à peu de distance de la surface du bain à affiner ; le courant jaillit sous forme d'arc entre l'électrode positive (ou *anode*) et la scorie, traverse celle-ci, puis le métal sous-jacent, qu'il chauffe, et ressort par un second arc et la deuxième électrode (ou *cathode*). Comme on le voit, ce système évite le contact direct, toujours nuisible, des électrodes avec le bain métallique.

3<sup>o</sup> Dans les fours à *induction*, on évite le contact du métal avec les électrodes en supprimant celles-ci ; à cet effet, on provoque l'apparition de ce qu'on appelle un courant induit, c'est-à-dire d'un courant engendré par les variations du flux magnétique d'un électro-aimant alimenté par un courant primaire alternatif. Tout autour du noyau de l'électro est disposée une rigole circulaire contenant la fonte et constituant le circuit secondaire où se développent des courants induits intenses ; ceux-ci chauffent le métal sans contact matériel et l'amènent à la fusion (fig. 67).

Il existait déjà au Canada, avant la grande guerre mondiale, quelques usines qui préparaient la fonte au four Héroult<sup>1</sup>. En France, des essais étaient tentés au Livet (vallée de la Romanche, Dauphiné ; four Keller, variante du précédent). La Norvège entra dans la même voie. Mais l'obtention directe de la fonte, à *partir du minerai*, n'a d'intérêt que là où le combustible est cher et l'énergie électrique très bon marché. Aussi, en général, le rôle du four électrique se borne actuellement à la fabrication des *aciers spéciaux* ou *fins*, en remplacement du procédé au creuset. On admet généralement qu'une usine ne peut songer à préférer le four électrique au haut fourneau, dont le rendement en métal est très satisfaisant, que si le prix de revient de l'énergie électrique peut s'abaisser à moins de 30 à 32 francs le kilowatt-an (le kilowatt corres-

1. Courant de 30.000 ampères, tension de 30 volts.

pond à un peu plus d'un cheval-vapeur, 1 cheval-vapeur  $\frac{1}{3}$  environ). Cela sera peut-être possible en France le jour où on saura mieux tirer parti de l'énorme puissance hydraulique que recèlent à l'état latent les chutes d'eau de nos montagnes (*houille blanche*) et les cours d'eau de nos plaines (*houille verte*). Les statistiques montrent que la puissance nominale de

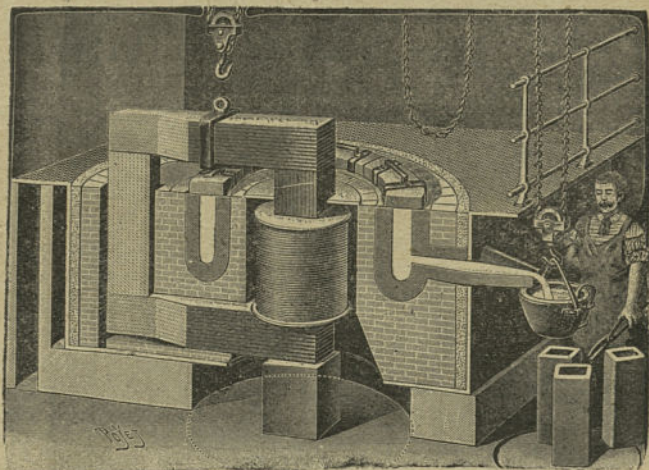


Fig. 67. — Four électrique à induction pour la fabrication de l'acier fondu.

l'ensemble des machines à vapeur en France est de huit à neuf millions de chevaux-vapeur (sur lesquels les deux tiers sont utilisés par les chemins de fer); or les forces hydrauliques du pays, tant en houille blanche qu'en houille verte, atteignent à peu près les besoins ci-dessus. Le cheval-vapeur revient en moyenne à 500 francs par an (davantage dans les chemins de fer), tandis que le cheval-an d'origine hydro-électrique peut être obtenu en montagne à 100 francs, même si on le transporte et ne l'utilise qu'à 500 kilomètres de son origine; ce prix s'abaisse à 60 francs en Suisse et à 30 francs dans la région du Niagara. Si l'on pouvait, en France, atteindre ce bas



prix, notre pays sortirait, au point de vue industriel et métallurgique, de l'état d'infériorité où il se trouve, vis-à-vis de l'Angleterre et de l'Allemagne, par suite de sa pauvreté relative en houille noire. Cet événement, s'il se réalisait, aurait encore un autre avantage non moins important ; l'énergie électrique, par sa diffusion, permettrait de suppléer au manque de bras en agriculture et, dans les petits centres urbains, rendrait possible le travail à domicile, pour une foule de petits métiers qui tendent actuellement à être absorbés par les grandes usines au détriment du foyer familial et honnête.

Si la production directe de la fonte par le haut fourneau électrique n'est pas encore une réalité industrielle en France, la préparation des aciers coûteux *extra-fins*, spéciaux et à *outils rapides* est, au contraire, d'une pratique courante. C'est, qu'en effet, les avantages primordiaux du four électrique sont les suivants : 1<sup>o</sup> l'obtention d'une haute température, *facilement réglable*, permet l'élimination facile des matières nuisibles : soufre, phosphore, élimination qui n'est pas absolument complète au four Martin, de sorte que celui-ci ne produit que des aciers *mi-fins* ; on n'est pas alors obligé de partir, comme matières premières, de fontes extrêmement pures. Il suffit, pour atteindre le but cherché, de garnir le four d'un revêtement ultra-basique en magnésie ou dolomie.

Remarquons que le métal est chauffé *dans toute sa masse* par le passage du courant, et non pas seulement par la surface scorifiée, comme cela a lieu dans le four Martin. La température atteinte est fonction de l'intensité du courant et peut être accrue progressivement jusqu'à telle valeur convenable.

2<sup>o</sup> Possibilité d'opérer rigoureusement à l'abri de l'air et d'éviter ainsi toute intervention nuisible de l'azote (bulles) et de l'oxygène (oxydation). On peut alors obtenir tel acier, telle fonte aciéreuse *très pure*, à proportion de carbone *exactement dosée*, allant, si l'on veut, de 0 à 4 pour 100. Il résulte de là que le four électrique est doué d'une extrême souplesse que ne possède aucun autre dispositif.

On élabore ainsi aisément du ferro-chrome à 3 pour 100 seulement de carbone, tandis que le cubilot donne *trop* de cet



élément et ne permet que difficilement de couler cette matière très peu fusible. Le ferre-chrome permet de fabriquer d'excellents aciers à aimants pour magnétos (Allevard, etc.). Le ferrotungstène (pour aciers à *outils rapides*, voir antérieurement) est fabriqué en grand aux usines Girod, dans des creusets chauffés électriquement, etc.

Signalons enfin une application nouvelle, née de la guerre : la fabrication de la fonte dite *synthétique*, ainsi dénommée parce qu'elle est obtenue, non au moyen du minerai, mais par fusion de déchets d'acier de toutes provenances, tournures, rognures, objets divers les plus hétéroclites. Ces matières d'œuvre sont introduites dans le four avec la quantité de carbone exactement dosée, nécessaire au relèvement du titre de cet élément ; le passage du courant, à l'abri de toute oxydation due à l'air, fond le tout en une masse homogène, sorte de *fonte aciérée*, avec laquelle on coule des obus. Ce procédé, qui a rendu de très grands services à la défense nationale, a été mis au point et appliqué en grand aux usines du Livet, déjà nommées, par son inventeur M. Ch.-A. Keller, qui a d'ailleurs mis libéralement son brevet à la disposition du gouvernement français.



## CHAPITRE III

# INDUSTRIES PRÉPARATOIRES MANUFACTURIÈRES

## TRAVAIL DES MÉTAUX ET DU BOIS

SOMMAIRE. — *Déformations de la matière et procédés de travail.*  
— *Fonderie.* — *Forgeage.* — *Étampage.* — *Laminage.* —  
*Emboutissage.* — *Étirage et tréfilage.* — *Outils et machines-*  
*outils.* — *Clouterie.* — *Ustensiles de ménage et chaudronnerie.*  
— *Serrures.* — *Coutellerie.* — *Armes.* — *L'aéroplane et son*  
*moteur.*

### I. — GÉNÉRALITÉS

PRÉAMBULE. — Les métaux une fois élaborés, c'est-à-dire extraits de leurs minerais et amenés à l'état de fer ou d'acier, doivent être façonnés suivant une forme adaptée à l'usage que nous voulons en faire. Dans ce but, la matière métallique doit subir à froid ou à chaud, une série d'actions mécaniques ou physiques dont les principales sont :

Fonderie, forgeage, étampage, laminage, emboutissage, étirage et tréfilage.

Avant d'exposer le principe de ces opérations, il est nécessaire de jeter un coup d'œil sur les propriétés mécaniques de la matière.

***Propriétés mécaniques de la matière : cohésion, viscosité.*** — Au point de vue de l'état physique, on peut, comme l'on sait, partager les corps en deux grandes classes, les *solides* et les *fluides*.



Les corps solides (latin *solidus*) ont une forme déterminée ; ils résistent aux efforts qu'on leur fait subir. Un prisme d'acier, abandonné à lui-même, conserve indéfiniment sa forme : il est doué de *rigidité* et de *solidité*.

Les fluides (latin *fluere*, couler) n'ont pas de forme déterminée ; ils résistent à peine, ou pas du tout, aux efforts de déformation ; par exemple l'eau, versée dans une carafe, prend la forme même de ce récipient ; l'air que le cycliste refoule avec sa pompe se moule suivant le pneumatique. On subdivise les fluides en deux catégories :

A) Les *liquides* qui sont, comme les solides, dépourvus d'*expansibilité* et de *force élastique* ;

B) Les *gaz*, au contraire, sont doués d'*expansibilité* et de *force élastique* ; ils tendent toujours à occuper le plus grand volume possible et exercent par eux-mêmes une pression sur les parois qui les renferment.

Cette classification n'a rien d'absolu car il peut exister tous les états intermédiaires entre la solidité et la fluidité parfaites. Considérons, par exemple, un corps visqueux comme le miel, la poix, le goudron très épais ; fabriquons un prisme avec l'une de ces substances et abandonnons-le à lui-même ; il conservera momentanément sa forme comme un solide, mais bientôt il s'écoulera peu à peu, s'effondrera sous l'action prolongée de la pesanteur (fig. 68, *a*) et, au bout d'un temps suffisant, s'il est contenu dans un vase, il aura pris une surface libre plane et horizontale comme un véritable liquide.

La viscosité varie dans de larges limites selon la nature particulière des corps : l'eau, l'éther, l'alcool, sont très mobiles, très fluides, donc presque dénués de viscosité ; ce sont pour ainsi dire, des liquides parfaits : la glycérine est visqueuse, la poix bien davantage, etc.

Considérons une barre prismatique A B (fig. 68, *b*) et supposons que nous voulions la séparer en deux parties suivant une face plane C D, c'est-à-dire produire une rupture par *traction* ; il faudra tirer chacune des deux moitiés, perpendiculairement à C D, avec une certaine force ; c'est donc que les particules de matière qui sont distribuées de part et d'autre de la surface CD

de séparation, s'attirent, adhèrent les unes aux autres, avec une certaine force mesurable par centimètre carré et qu'on appelle *cohésion*.

La cohésion est très forte dans les solides, très faible au contraire dans les liquides, nulle et même répulsive dans les gaz.

Supposons maintenant que nous voulions faire glisser les deux parties A et B de notre prisme l'une sur l'autre, c'est-à-dire produire ce qu'on appelle un effet de *cisaillement* (fig. 68, c); il faudra vaincre une sorte de résistance interne qui, évaluée par centimètre carré de surface cisailée, donne la mesure de ce qu'on appelle la *viscosité*, lorsqu'il s'agit d'un fluide.

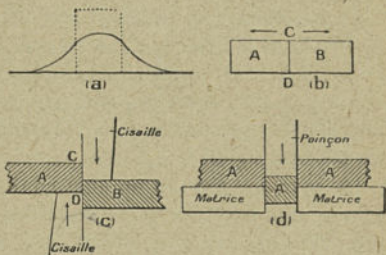


Fig. 68. — Viscosité, cohésion et cisaillement.

Une élévation de température diminue la cohésion et la viscosité; un abaissement les augmente. Ainsi, à chaud, le fer devient pâteux et, à haute température, prend l'état liquide; au four électrique, il bout puis se gazéifie comme de l'eau. L'alcool, si fluide à la température ordinaire, devient, à une température extrêmement basse, visqueux comme du miel et enfin solide.

**Déformations de la matière et procédés de travail.** — Tout objet matériel occupe un espace plus ou moins étendu qu'on appelle son *volume* et que l'on peut caractériser par ses dimensions géométriques, nécessairement au nombre minimum de trois: longueur, largeur, épaisseur.

Déformer un corps c'est modifier l'une ou l'autre de ses dimensions. Cette modification peut avoir lieu soit en respectant l'intégrité de la matière, par simple changement des distances mutuelles qu'ont entre elles les diverses parties du corps, soit, dans le cas contraire, par enlèvement, *ablation* d'une portion plus ou moins considérable de cette substance. Dans ce dernier cas rentrent toutes les opérations de *perforation*, *burinage*,



*rabotage*, *limage*, etc. Soit, par exemple, le découpage d'un objet à l'*emporte-pièce*; cette opération met en jeu des forces qui procèdent du *cisaillement* (fig. 68, *d*); l'organe perforateur ou *poinçon* vient agir sur la matière A en regard précis d'une ouverture pratiquée dans une plaque d'acier trempé appelée *matrice*, et force la matière d'œuvre à se cisailer suivant le profil de cette ouverture. Le poinçonnage de forge dérive du même genre d'action.

Le rabotage et le burinage consistent à séparer une partie de la surface de la matière d'œuvre par l'action pénétrante et expulsante d'un outil en acier, taillé en biseau et appelé, selon la destination, *burin* pour les métaux, *fer de rabot* pour le bois (fig. 69, *a*); ces instruments, à biseau simple ou double selon les besoins, agissent à la fois par cisaillement et refoulement.

Le *grattage* produit un effet analogue. Une *lime* fonctionne comme une quantité de petits burins agissant simultanément; il en est à peu près de même dans le *polissage*, chaque petit grain de poudre agissant comme une dent de lime de dimensions très réduites. La scie creuse un sillon comme le ferait une série de burins ou de rabots disposés en ligne droite, les uns derrière les autres.

Dans les exemples précédents le métal travaillé a subi une perte de substance plus ou moins considérable. D'autres procédés n'entraînent théoriquement aucun déchet; ainsi, un moyen très général pour modifier la forme d'un corps est de porter celui-ci à une température suffisante pour l'amener à l'état liquide, réaliser par conséquent le phénomène dénommé *fusion*; on fait ainsi acquérir à la matière, par suite de la disparition presque complète de la viscosité et de la cohésion, une mobilité telle qu'en la versant dans un moule approprié elle prend la forme de celui-ci et conserve cette forme après refroidissement. Ce sont là les opérations fondamentales de la *fonderie* et du *moulage*. On remarquera que, dans ce genre de transformation, quoiqu'il n'y ait pas, pour la produire, de force directement appliquée par l'homme, il existe néanmoins un agent qui travaille; cet agent n'est autre que la force naturelle de *pesanteur* qui tend à faire descendre les particules mobiles du



métal liquide le plus bas possible et les dispose suivant les détails du moule.

En dehors du procédé de fonderie il faut, pour obtenir un changement de forme, faire agir directement sur la surface des forces mécaniques suffisamment intenses. La déformation peut

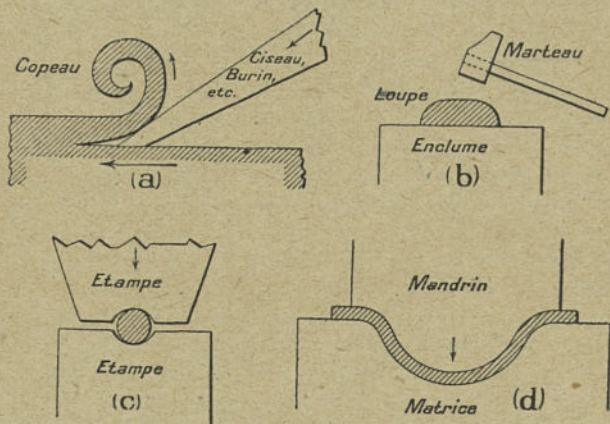


Fig. 69. — Procédés d'ablation ou de déformation de la matière.

porter, soit sur les trois dimensions à la fois, ou bien sur deux, ou enfin sur une seulement. Les distances mutuelles peuvent augmenter ou diminuer ; si elles diminuent, on dit que le corps subit une *compression* dans le sens de la dimension qui éprouve une réduction ; si, au contraire, les distances augmentent, le corps subit une *extension* ou *dilatation*.

La compression d'un métal s'effectue généralement à chaud pour faciliter la déformation. On peut opérer suivant deux procédés de travail : le *forgeage* et l'*étampage*, pour chacun desquels les efforts appliqués se manifestent soit sous forme de *chocs*, de *percussions* (*martelage*), soit sous forme de pression (presse hydraulique).

Le forgeage, comme le martelage, agit généralement par chocs ; l'instrument primordial de ce procédé de travail est le *marteau*, ou masse métallique pesante emmanchée à l'extré-

mité d'un levier de manœuvre (fig. 69, *b*), ou mise en mouvement par la vapeur, l'air comprimé, etc. (Voir antérieurement, marteau-pilon). L'effet du choc ou de la percussion est l'équivalent de la *force vive* ou *énergie cinétique*  $\frac{1}{2} MV^2$  acquise par la masse percutante à l'instant qui précède immédiatement le choc ; c'est-à-dire que cet effet est proportionnel à la masse *M* du marteau et au carré de sa vitesse *V*.

L'étampage consiste à enfermer la masse métallique chaude et pâteuse dans un espace rigide formé par des compartiments mobiles ou *étampes* pouvant être rapprochés sous l'action d'une puissance considérable ; le métal, par l'effet de cette violente contrainte, se moule suivant la forme intérieure des étampes (fig. 69, *c*).

L'*emboutissage* est un cas particulier d'étampage où l'on agit, le plus souvent à froid, non sur une masse globulaire de métal mais sur une feuille peu épaisse, pour lui faire épouser la forme creuse d'une étampe matrice, sous la pression d'une autre étampe mandrin s'emboîtant dans la première (fig. 69, *d*) ; on fabrique ainsi des objets de chaudronnerie.

L'*estampage* consiste à découper ou à imprimer des ornements en relief ou en creux et rentre dans le même ordre de procédés. Il s'exécute à froid le plus souvent.

La compression simultanée suivant les trois dimensions entraîne une réduction de volume et, par suite, un accroissement de la *densité* ; c'est ainsi que la densité du fer forgé est 7,8 environ tandis que celle du fer fondu est seulement 7,3. Mais cette compressibilité en volume des solides et des liquides est très faible ; ainsi celle de l'eau n'est que d'un vingt-millième pour une augmentation de pression de 1 kilogramme par centimètre carré ; d'où il suit que vingt litres d'eau, soit 20 000 centimètres cubes, ne diminuent que de 1 centimètre cube pour l'accroissement de pression susdit. Les gaz, au contraire, possèdent une compressibilité considérable ; on peut réduire leur volume au tiers, au quart, au millième, etc., mais il faut dire qu'alors la force élastique du gaz et la pression qu'il exerce sur l'organe compresseur croissent en proportion.



Au lieu de chercher à réduire les trois dimensions simultanément, on peut n'en diminuer que deux, par exemple la largeur et l'épaisseur ; comme le volume est sensiblement invariable, puisque la compressibilité est très faible, la matière du corps s'étale suivant la longueur qui devient, par suite, considérable ; on a alors une tige, une barre, ou même un fil. Ce résultat peut s'obtenir de deux façons ; soit en comprimant le métal à chaud suivant la largeur et l'épaisseur et le laissant libre de s'écouler suivant la longueur : c'est ce qui se réalise par le forgeage ou le martelage ; soit en exerçant une traction, suivant la longueur, opération qui constitue le *tréfilage*, s'exécutant généralement à froid (fig. 70, a), dans des établissements appelés *tréfileries*. Mais, tandis que le forgeage est toujours possible, théoriquement du moins, le tréfilage ne peut être appliqué que si le métal possède assez de cohésion pour ne pas se rompre et assez de viscosité et de plasticité pour que ses parties constitutives glissent aisément les unes contre les autres de façon à s'allonger suivant l'axe. Le plomb serait plastique mais pas assez résistant, aussi ne peut-on pas le tréfiler en fils extrêmement menus, on exprime ceci en disant que ce métal est peu *ductile* ; le fer l'est bien davantage à cause de sa grande résistance, on peut en faire des fils très fins mais moins ténus cependant que ceux d'or ou d'argent. La *ductilité* est donc cette propriété que possède un métal de pouvoir être réduit en fils plus ou moins fins par *étrépage*.

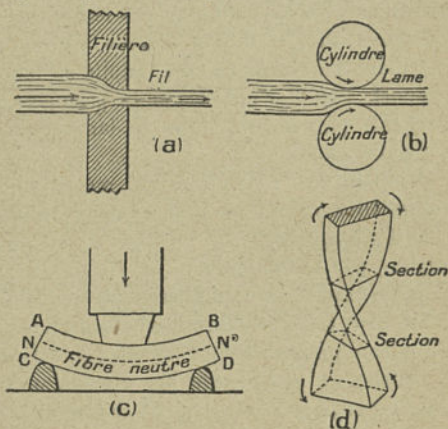


Fig. 70. — Étirage, laminage, flexion et torsion.

exercant une traction, suivant la longueur, opération qui constitue le *tréfilage*, s'exécutant généralement à froid (fig. 70, a), dans des établissements appelés *tréfileries*. Mais, tandis que le forgeage est toujours possible, théoriquement du moins, le tréfilage ne peut être appliqué que si le métal possède assez de cohésion pour ne pas se rompre et assez de viscosité et de plasticité pour que ses parties constitutives glissent aisément les unes contre les autres de façon à s'allonger suivant l'axe. Le plomb serait plastique mais pas assez résistant, aussi ne peut-on pas le tréfiler en fils extrêmement menus, on exprime ceci en disant que ce métal est peu *ductile* ; le fer l'est bien davantage à cause de sa grande résistance, on peut en faire des fils très fins mais moins ténus cependant que ceux d'or ou d'argent. La *ductilité* est donc cette propriété que possède un métal de pouvoir être réduit en fils plus ou moins fins par *étrépage*.



Enfin, si l'on ne cherche à réduire qu'une seule des dimensions du corps, l'épaisseur, la matière s'étale suivant la longueur et la largeur et l'on obtient une lame plus ou moins épaisse (plaque, tôle, feuille). Ce résultat peut être obtenu soit simplement par forgeage ou martelage, soit encore par compression et étirage comme dans le procédé du *laminage* entre cylindres (fig. 70, *b*). On appelle *malleabilité* cette propriété des métaux de pouvoir être réduits en lames minces ; sous ce rapport, c'est l'or qui occupe la première place ; vient ensuite l'argent, puis l'aluminium, le laiton, etc. Le fer en lames s'appelle *tôle*.

Au point de vue purement mécanique, les déformations essentielles ou simples sont les deux suivantes :

1<sup>o</sup> L'allongement par traction et son inverse le raccourcissement par compression ;

2<sup>o</sup> Le cisaillement ou glissement latéral.

On peut aussi produire des déformations complexes résultant de la combinaison des précédentes ; ainsi une *flexion* consistant à courber, à ployer une des dimensions (fig. 70, *c*) ; dans ce cas, les régions voisines de la concavité A B subissent un raccourcissement, donc une compression, tandis que celles qui se trouvent vers la convexité CD subissent un allongement et une traction. Entre ces deux régions opposées existe nécessairement une ligne NN', dite *neutre*, qui ne subit ni traction ni compression. La flexion est appliquée dans le *gabariage* des plaques de blindage (voir plus loin, forgeage), etc.

Une *torsion* consiste à tordre l'objet sur lui-même ; dans ce but on encastre les extrémités dans deux mâchoires et on fait tourner celles-ci d'un certain angle autour de l'axe qui les joint (fig. 70, *d*) ; les diverses sections du prisme tournent sur elles-mêmes, en glissant les unes sur les autres, et subissant un cisaillement.

Toutes ces violences exercées sur un métal en changent, non seulement la forme géométrique extérieure, mais encore la structure interne. Ainsi, une tige de bon fer, ayant été soumise à une série prolongée de torsions modérées et de chocs, a été étudiée chaque fois après un certain nombre d'épreuves :

ce n'est qu'au bout de 130000 chocs que l'on vit apparaître un commencement d'altération ; celle-ci devint profonde au bout d'un million d'épreuves et enfin, après quatre millions de chocs, la contexture du métal était devenue lamelleuse, et des cristaux de quelques millimètres pouvaient s'apercevoir.

Il résulte de là que les déformations que l'on fait subir au fer provoquent l'apparition dans celui-ci, et à la température ordinaire, d'une structure cristalline et grenue, donc peu cohérente (essieux de voitures, etc.). De même le laminage *écrouit* le fer et, si l'on veut continuer à le travailler, il faut le recuire.

Lorsque l'on chauffe le fer jusqu'à l'amener à l'état liquide et qu'on le laisse refroidir, il a encore une tendance à cristalliser intérieurement et à prendre une structure cassante ; on remédie à cet effet nuisible par le *forgeage à chaud*.

Nous allons maintenant donner quelques détails sur les divers procédés de travail qui viennent d'être exposés dans leur ensemble.

## II. — FONDERIE

**But.** — La fonderie se propose de fabriquer un objet en coulant le métal fondu dans un *moule* dont le creux ou intérieur reproduit la forme de l'objet.

Les métaux les plus employés sont la fonte de fer, le cuivre et aussi l'acier depuis que l'on est parvenu à obtenir ce métal sans soufflures. Cependant, pour les grandes pièces destinées à résister à des efforts dynamiques considérables, telles que canons, arbres de transmission, etc., le forgeage est encore préférable parce qu'il permet, non seulement de résorber les soufflures, mais encore et surtout d'améliorer les qualités de structure du métal d'une façon très marquée. Néanmoins on fabrique de plus en plus des pièces d'acier coulé très remarquables, surtout si l'on a soin de les soumettre ensuite à un traitement complémentaire de *trempe* et de *recuit* judicieux.

On emploie uniquement, comme fontes, les variétés dites *grises*, soit de *première fusion*, c'est-à-dire provenant directe-

ment du haut fourneau, soit de *seconde fusion*, c'est-à-dire ayant subi une refonte au *cubilot*. (Voir antérieurement.)

Pour mouler un objet il faut accomplir successivement les opérations suivantes :

- 1<sup>o</sup> Confectionner un *modèle* de l'objet ;
- 2<sup>o</sup> Confectionner le *moule*, au moyen de ce modèle ;
- 3<sup>o</sup> Couler le métal fondu ;
- 4<sup>o</sup> Démouler après refroidissement ;
- 5<sup>o</sup> *Ebarber*, ajuster et finir la surface.

De nombreuses difficultés attendent le fondeur. Il y a d'abord le *retrait*, ou contraction du métal par refroidissement, en vertu duquel l'objet, une fois solidifié, sera un peu plus petit que le modèle.

Le retrait est d'environ 1 pour 100 dans la fonte grise, près du double pour l'acier ; il peut amener, si l'on ne prend pas de précautions spéciales et si la *forme* n'est pas convenablement

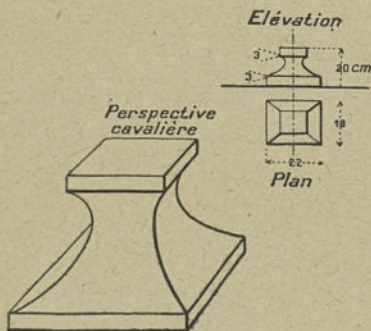


Fig. 71. — Socle en fonte.

étudiée, des fractures dans les angles ou les parties faibles ; aussi consolide-t-on les endroits dangereux par des nervures de renforcement ou des raccordements.

#### 1<sup>o</sup> Exécution du modèle.

— Supposons que nous ayons besoin d'un socle en fonte (fig. 71). Nous commencerons par dessiner l'objet par plan, coupe, élévation,

en indiquant les dimensions (épaisseurs, hauteurs, largeurs, etc.) au moyen de *cotes* en centimètres ou millimètres. Nous confierons ensuite ce dessin à un ouvrier *modeleur-mécanicien* qui, au moyen de ce document représentatif, exécutera un *modèle* en bois de notre socle, en lui donnant un surcroît de dimensions de  $\frac{1}{100}$  pour tenir compte



du retrait <sup>1</sup>. On conçoit l'utilité majeure qu'il y a pour un ouvrier modeleur de savoir *lire* et *comprendre* correctement un dessin géométral, ce à quoi il arrivera en s'exerçant lui-même à dessiner des organes de machines.

**2<sup>o</sup> Confection du moule.** — Les matériaux constitutifs du moule peuvent être le sable, la terre, ou un métal (moulage en *coquilles*).

A) Le sable spécial de fonderie doit être un peu plastique lorsqu'il est humide et, pour cela, contenir une petite quantité d'argile pour donner du liant ; mais il doit être cependant assez poreux sans contenir d'éléments volatils sous l'action de la chaleur, tels que carbonates, matières organiques.

Le sable de mer non lavé ne convient pas à cause de la présence du sel fusible qui boucherait les pores du moule ; celui de rivière est trop maigre ; le sable de carrière (sable à lapins) est préférable ; on le rend homogène par un traitement mécanique approprié et on lui ajoute une certaine proportion de poussier de charbon ; la porosité ainsi communiquée à la matière lui permettra d'être mieux perméable aux gaz qui se dégagent au moment de la coulée et tendent à désagréger le moule si on ne leur offre pas des issues. On peut d'ailleurs employer soit le *sable vert* (sable cru, naturel), soit le *sable séché* au feu, ou enfin le *sable étuvé*, recuit, qui convient pour les pièces devant être bien finies et dépourvues de trempe.

B) La *terre* de fonderie est de l'argile contenant environ les deux tiers de sable ; on l'emploie surtout dans le procédé à la *trousse* dont il sera question plus loin et pour la confection des *noyaux* destinés à réserver les vides dans le cas d'objets creux. Pour donner plus de corps à la terre et prévenir les fendillements sous l'action de la chaleur, on ajoute de la bourre de chanvre, de la filasse, etc.

C) **Exécution du moule.** — **Moulage en châssis.** — Il ne suffit pas de tasser le sable ou la terre autour du modèle, il

1. Si le modèle n'est pas de *dépouille*, c'est-à-dire s'il présente des angles rentrants accentués qui empêcheraient par la suite de le sortir du moule sans dommage, on le construit en plusieurs morceaux se juxtaposant exactement et que l'on devra ultérieurement séparer par fractions.

faut que ces matériaux aient du maintien et de la consistance par eux-mêmes ; dans ce but, on confectionne ou on se procure un certain nombre de *châssis*, sortes de cadres en fer ou en fonte dont les côtés peuvent être reliés par des tringles de fer, des traverses ou des croisillons garnis de crochets Une fonderie est obligée d'avoir en réserve un grand nombre de tels châssis

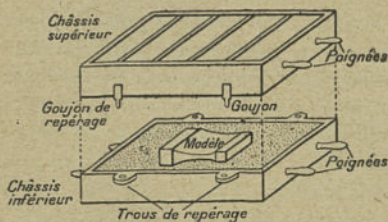


Fig. 72. — Moulage au châssis.

de toutes grandeurs, afin de ne pas être arrêtée dans son travail. On dresse le sol de l'atelier bien horizontalement, sur une aire assez étendue, et on y dispose un premier châssis dont le cadre a été enduit intérieurement d'argile, puis on y foule le sable ou la terre à mouler au moyen d'un outil appelé *fouloir* ou *batte*, assez analogue à un battoir ; le sable adhère à l'argile, celle-ci au cadre et aux tringles et l'ensemble constitue une masse que l'on peut soulever et manier sans la disloquer. C'est dans cette masse que l'on couche le modèle en l'enterrant à moitié (fig. 72) et en refoulant la terre dans les angles rentrants afin qu'elle épouse parfaitement la forme de la pièce ; on soutient cette terre au moyen de *clous de mouleurs* accrochés aux tringles et arrivant jusque dans le voisinage du modèle.

Il s'agit maintenant de superposer un second châssis au premier. Au préalable, on saupoudre la surface de celui-ci avec un peu de sable excessivement fin et très sec afin d'éviter, entre les deux parties du moule, une adhérence qui empêcherait leur séparation ultérieure. Mettant ensuite le second châssis en place, on enfouit totalement le modèle sous une couche de sable foulé jusqu'aux bords ; la figure montre comment on peut repérer exactement les deux parties du moule, quand on veut réassembler les châssis après les avoir séparés.

Il faut avoir soin de ménager, au moyen de mandrins, au moins deux orifices, l'un pour la coulée, l'autre appelé *évent*



pour permettre l'expulsion de l'air chassé par l'arrivée du métal liquide et des gaz divers qui accompagnent toujours cette opération ; dans le même but, on a soin de perforer, de distance en distance, la masse sableuse du moule au moyen de longues aiguilles.

Lorsque la dimension du moule dans le sens vertical est un peu grande, on prolonge l'orifice de coulée de façon à former au-dessus de l'objet, une masse métallique supplémentaire et provisoire dénommée *masselotte*, destinée à être enlevée ultérieurement et dont le rôle, pendant la coulée, est des plus utiles ; en effet : 1<sup>o</sup> le refroidissement étant accompagné d'un retrait qui amène à la partie supérieure un vide axial appelé *retassure*, celle-ci se manifesterait seulement dans la masselotte qui nourrirait alors la partie inférieure ; 2<sup>o</sup> la hauteur plus grande du métal fondu produirait une pression hydrostatique favorable à l'homogénéité de la masse.

D) Une fois le foulage terminé, on démoule le modèle, on répare les petits accidents que cette opération aurait pu provoquer et on saupoudre la surface intérieure de charbon de bois ou de talc très finement pulvérisés, afin que le sable ne soit pas en contact direct avec la fonte liquide et s'y attache.

Dans le cas où le moule devrait passer à l'étuve, on le garnirait intérieurement d'un badigeon d'eau, d'argile et de poussier de charbon.

3<sup>o</sup> **Coulée.** — La fonte liquide n'est pas versée directement dans le moule, qu'elle pourrait dégrader par sa chute brusque ; elle est

d'abord reçue dans des sortes de *poches* en tôle, à revêtement intérieur d'argile, transportées soit à bras (fig. 73) soit mécaniquement au moyen d'une grue, si elles sont trop lourdes. Le contenu de ces poches est alors vidé doucement

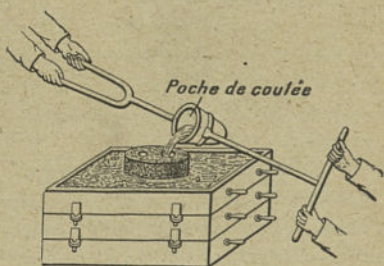


Fig. 73. — Moulage par coulée « en descente ».



dans le trou de coulée, puis abandonné au refroidissement. La figure 73 représente le mode de coulée en *descente* qui a l'inconvénient de faire tomber le métal d'une très grande hauteur, de le faire rejaillir sur les parois du moule en gouttelettes qui, s'oxydant et se refroidissant prématurément, ne

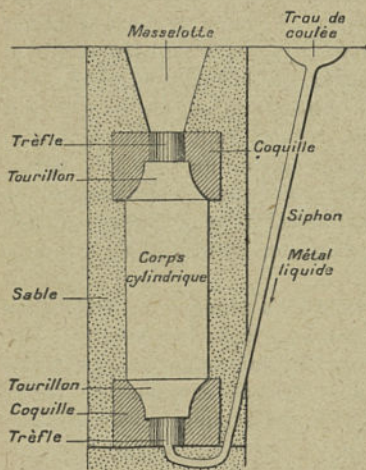


Fig. 74. — Coulée d'un cylindre de laminoir.

peuvent plus ensuite faire corps avec la masse (gouttes froides). Pour les pièces d'assez grande hauteur, on obtient de meilleurs résultats par la *coulée en source* ; la fonte liquide arrive alors à la partie inférieure du moule par un siphon latéral ; la figure 74 représente ce système de coulée appliqué à la fabrication d'un cylindre de laminoir ; grâce à la *masselotte* et à la *source*, les scories, les soufflures remontent à la partie supérieure, se logent dans la masselotte et sous l'action de la pression que produit celle-ci, on obtient un métal plus homogène, dense et cohérent.

**4<sup>o</sup> Démoulage et finissage.** — Après refroidissement complet on démonte les châssis, on sort la pièce et on procède à l'*ébarbage*, c'est-à-dire qu'au moyen du marteau et du burin, on fait sauter les bavures et petites infiltrations de métal qui se sont produites entre les surfaces de joint des châssis, ainsi que les colonnettes correspondant aux orifices de coulée et d'évents ; on enlève également, au moyen de râcles et de brosses métalliques dures, les grains de sable ou de terre qui se sont collés à la surface.

**Corps évidés.** — Quand l'objet présente des parties

creuses, ce qui est fréquent, il faut alors disposer à l'intérieur du moule une masse pleine et résistante destinée à réserver ce vide pendant la coulée du métal. Cette pièce de réserve, dite *noyau*, est confectionnée avec du sable comprimé et armé, c'est-à-dire maintenu bien cohérent par une carcasse métallique intérieure; elle repose à ses extrémités par deux sortes de tourillons appelés *portées*, qui pénètrent axialement dans des vides ménagés dans le moule. Lesdits vides devront donc être prévus par l'ouvrier modelleur et correspondront sur le modèle à des pleins équivalents. Soit, par exemple, à fabriquer un volant à main (fig. 75); là où le moyeu devra posséder un trou cylindrique pour laisser passer l'arbre du volant, le modèle sera au contraire garni d'un cylindre plein de même grosseur que l'arbre.

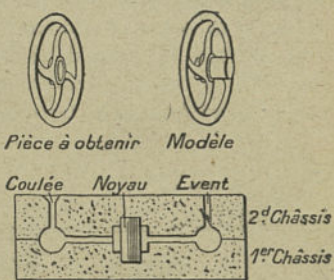


Fig. 75. — Moulage d'un corps évidé.

**Autres procédés de moulage.** — On peut varier beaucoup les procédés de moulage selon le but à atteindre, la grandeur et la forme de l'objet à obtenir. Nous nous contenterons de donner une idée des suivants.

A) **Moulage en coquilles.** — On coule dans un moule métallique qui prend alors le nom de *coquille*; il en résulte un refroidissement rapide et un durcissement de la surface de la fonte, par suite d'une véritable trempe; la figure 74 représente le moulage d'un cylindre de laminoir dont les tourillons et les *tréfles* (sortes d'engrenages) sont coulés en coquilles.

B) **Moulage à la trousse ou au trousseau.** — Ce procédé est employé économiquement pour les corps de révolution de grandes dimensions; il dispense de la fabrication préalable et coûteuse d'un modèle. Soit, par exemple, à fondre une coupole. On commence par creuser, dans le sol de l'atelier, une fosse assez large et assez profonde pour que l'objet que l'on a en vue

d'obtenir puisse y être contenu et qu'il reste encore tout autour un espace suffisant pour circuler. On fixe, dans le sol bien aplani, une forte tige verticale appelée *arbre à trousse*, reposant inférieurement sur une *crapaudine*, tandis qu'elle est maintenue à la partie supérieure par un palier vertical (*boillard*). Tout autour de cet arbre on élève un bloc de maçonnerie reproduisant grossièrement la forme de la coupole, mais un peu plus petit (fig. 76), et on recouvre d'une couche assez épaisse de terre de

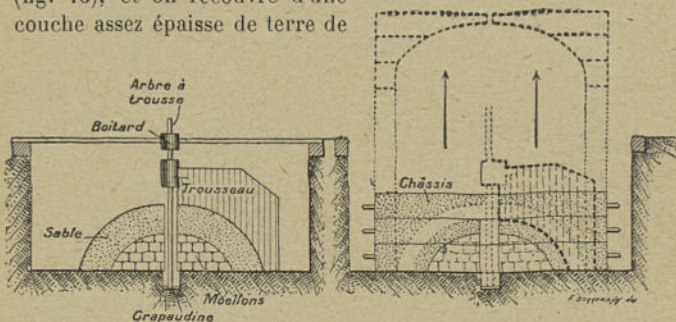


Fig. 76 et 77. — Moulage au trousseau.

fonderie. On confectionne ensuite un *gabarit*, c'est-à-dire une plaque de tôle découpée exactement suivant le profil extérieur de la coupole ; cet outil de forme prend le nom de *trousse* ou *trousseau* et est disposé de façon à pouvoir tourner autour de l'arbre vertical ; dans ce mouvement de rotation, il enlève toute la terre qui est en excès et l'on obtient, en somme, un véritable modèle de l'objet à reproduire ; on sèche parfaitement cette surface avec des réchauds ou un feu de charbon, puis on la moule en châssis suivant la méthode ordinaire (fig. 77) en pilonnant fortement le sable que l'on y jette. Ce moule en creux, une fois obtenu, est enlevé, ce qui met de nouveau le modèle à découvert, on y glisse sur l'axe vertical une autre trousse dont le profil correspond à la surface intérieure de la coupole ; on tourne ce gabarit qui enlève ainsi une épaisseur de terre égale à celle qu'il faut donner à la pièce ; enfin on remet les châssis en place et on coule le métal.



C) **Moulage d'une statue à cire perdue.** — On construit sur l'original, ou le modèle, un moule provisoire dit *bon creux*, qui épousera la forme extérieure; ce moule est composé de *pièces battues*, sorte de voussoirs jointifs, en sable pilonné, qui peuvent se retirer séparément (fig. 78). On confectionne

ensuite un *noyau* de la manière suivante: on assemble les pièces battues pour reconstituer le bon creux et on y foule du sable consolidé intérieurement par une armature ou carcasse en fer; ceci fait, on démonte le moule, ce qui met à nu le noyau, et on *tire celui-ci d'épaisseur*, ce qui veut dire qu'on enlève une mince couche de sable sur une épaisseur égale à celle que l'on veut donner au métal.

Arrivé à ce point du travail, on pourrait remonter le moule autour du noyau gratté, et enfin couler, mais on n'obtiendrait ainsi qu'un moulage plein et un peu grossier; dans le procédé à *cire perdue*, on remplace l'épaisseur de sable enlevé par un plaquage en cire et le sculpteur fait directement les retouches sur cette nouvelle matière plastique, de manière à lui donner la perfection voulue; c'est même là le travail fondamental de l'artiste. Tout autour de ce modèle, comme noyau, on tasse du sable très fin qui constituera un moule définitif d'une seule pièce; ensuite on porte le tout à l'étuve de façon à faire fondre la cire; celle-ci, en s'écoulant, laisse entre le moule et le noyau un vide dans lequel on coule enfin le métal.



Fig. 78. — Moulages à cire perdue.

D) **Moulage mécanique.** — Lorsqu'on a à fabriquer un grand nombre d'exemplaires du même objet (ce qu'on appelle fabrication en *série*), il y a avantage, sous le rapport de la rapi-

dité et de l'économie de main-d'œuvre, à utiliser des machines spéciales qui exécutent le moulage par compression du sable au moyen d'un dispositif hydraulique, à air comprimé ou à la vapeur et qui, ensuite, démoulent le modèle.

### III. — FORGEAGE, ÉTAMPAGE, LAMINAGE, EMBOUTISSAGE, ÉTIRAGE

**But du forgeage.** — C'est de donner au métal chaud et pâteux, lingot de fonderie, loupe ou barre, la forme approchée, dégrossie et même parfois définitive de l'objet que l'on veut

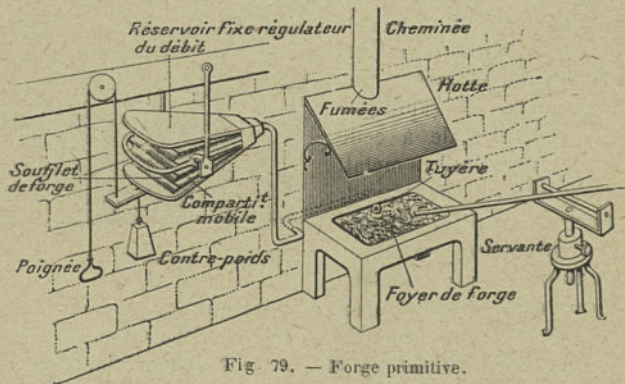


Fig. 79. — Forge primitive.

fabriquer ; on y arrive par le moyen de diverses manipulations qui, toutes, s'effectuent sans enlèvement sensible de substance et qui sont notamment : le martelage et l'étirage qui en résulte, le refoulement, le perçage et le fendage, l'étampage, la soudure, etc. Un autre but du forgeage et du martelage est encore d'améliorer les qualités du métal.

Les dimensions des appareils et outils utilisés sont en rapport avec l'importance des travaux à exécuter et il y a lieu d'envisager séparément la petite et la grosse forge, quoique les principes appliqués soient identiques.

## Petite forge.

**Matériel et outillage du forgeron.** — 1<sup>o</sup> Forge. — Le forgeron chauffe son métal dans un foyer appelé foyer de forge, ou simplement *forge*. Cet appareil est constitué par une sorte de cuvette peu profonde, en maçonnerie ou en fonte, de la hauteur d'une table, et où l'on fait brûler du charbon de terre capable de s'agglomérer

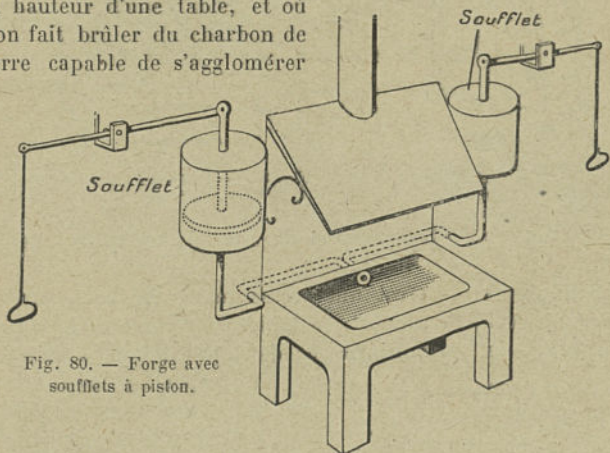


Fig. 80. — Forge avec soufflets à piston.

(houille grasse dite *maréchale*) et aussi quelquefois du coke. Par le jeu d'une soufflerie, l'air nécessaire à la combustion est aspiré dans l'atmosphère et refoulé par une tuyère qui débouche dans le foyer. La figure 79 représente une disposition un peu primitive qui se rencontre assez souvent dans les petites localités. On a perfectionné beaucoup le système de ventilation de sorte que l'antique et pittoresque soufflet de forge cède la place à des systèmes plus efficaces et moins encombrants (fig. 80 et 81). La portion du métal à chauffer est introduite directement dans la partie la plus chaude du foyer, mais cependant pas trop près de la *buse*, ou orifice de la tuyère, afin d'éviter l'oxydation du métal que ne manquerait pas de causer



l'excès d'air (fig. 82). On arrose le foyer avec un peu d'eau, afin de favoriser la formation d'une croûte charbonneuse agglomérée *a* jouant le rôle d'une voûte isolante réverbérant la chaleur sur le

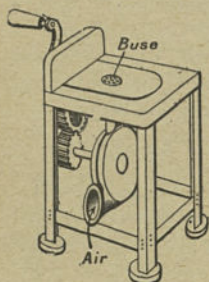


Fig. 81. — Forge portable à ventilateur centrifuge.

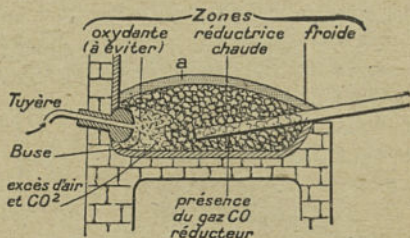


Fig. 82. — Diverses zones du feu de forge.

métal. Un jeu de tisonniers et de crochets sert à arranger le foyer.

20 **Enclume.** — C'est une grosse masse de fer à surface aciérée servant de support, de table, pour effectuer le travail (fig. 83) ; elle est terminée par deux proéminences pointues appelées *bigornes*,

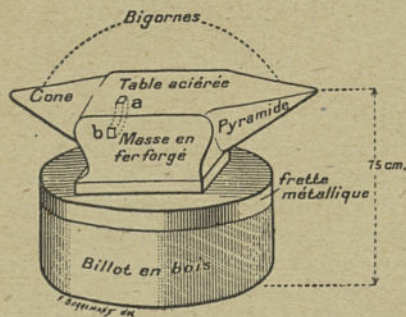


Fig. 83. — Enclume de forgeron.

l'une conique, l'autre pyramidale, servant à cintrer le fer chaud. Un trou recourbé *a b*, de section rectangulaire, reçoit occasionnellement la queue, ou *soie*, de divers outils tels que *tranchets* (fig. 84, *a*), *étampes*, *matrices* (fig. 84, *b*). Le tranchet est une sorte de couteau court

et ramassé sur le tranchant duquel on appuie une barre de fer rougie au feu ; un coup de marteau donné sur cette barre

produit la coupure désirée. L'étampe sert à façonner le métal suivant une forme déterminée (Voir plus loin).

3<sup>o</sup> **Marteaux.** — Ce sont des masses d'acier ou de fer aciéré destinées à frapper le métal travaillé. Le marteau, outil primordial et fondamental du forgeron, revêt

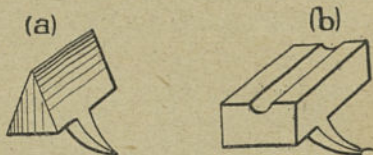


Fig. 84.

(a) tranchet; (b) étampe-matrice.

diverses formes et porte des noms particuliers, selon qu'il se manœuvre avec un seul bras ou avec les deux; la figure 85

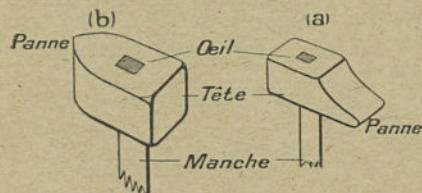


Fig. 85.

(a) marteau à main, panne perpendiculaire au manche; (b) gros marteau « à devant » ou à deux bras, panne parallèle au manche.

La tête est la partie frappante, généralement à peu près plane; la panne est l'extrémité amincie opposée. Au contraire, dans un marteau de grosse forge (*marteau-pilon*), la panne est la partie inférieure, celle qui produit le choc en tombant.

4<sup>o</sup> **Pinces, tenailles.** — Ces instruments servent à saisir, à transporter ou à maintenir la pièce à forger; il en existe un très grand assortiment dont la figure 86 (*a et b*) donne une idée.

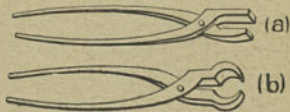


Fig. 86. — Tenailles de forge.

5<sup>o</sup> **Chasses, tranches, gouges, dégorgeoirs, poinçons.** — A) Comme les marteaux, les *chasses* sont des masses d'acier ou de fer aciéré pourvues d'un *œil* ou orifice d'emmanchement, mais ne produisant pas directement le choc; en effet, elles sont interposées entre le métal à

travailler et le marteau et reçoivent l'action de celui-ci sur leur sommet à bords un peu émoussés (fig. 87, *a*). Ces outils servent à préciser un angle rentrant, à aplanir une surface (*chasse à parer*), etc.

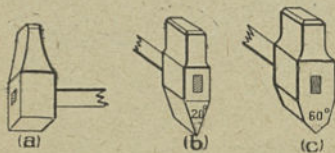


Fig. 87.

(a) chasse carrée ; (b) tranche à chaud ;  
(c) tranche à froid.

B) Les *tranches* servent, comme leur nom l'indique, à couper le fer ; tandis que le *tranchet* (fig. 84, *a*) agit en dessous, les tranches agissent *en-dessus* et, interposées entre le métal et le marteau, reçoivent directe-

ment le choc de celui-ci ; elles sont maintenues en place par un manche et l'angle de leur arête diffère selon qu'il s'agit de couper à froid ou à chaud (fig. 87, *b* et *c*).

C) La *gouge* (fig. 88, *a*) sert à enlever des parcelles de métal ou des défauts.

D) Les *poinçons* servent à percer des trous à chaud (fig. 88, *b*). — On achève de donner à l'ouverture la forme et les dimensions définitives au moyen d'un *mandrin*, sorte de manchon en acier de forme cylindrique, carrée, etc., et que l'on force dans l'orifice.

E) *Dégorgoir*. — La tête de cet instrument est arrondie en demi-cylindre convexe (fig. 89, *a*) et sert à obtenir une rigole ou une cannelure en s'enfonçant dans le métal plastique rougi au feu. Le mode d'emploi de cet outil, comme d'ailleurs celui des *étampes* dont il va être question tout à l'heure, est entièrement le même que celui des chasses et autres instruments analogues.

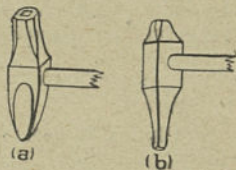


Fig. 88.

(a) gouge ; (b) poinçon carré.

6° *Étampes*. — Les *étampes* sont des sortes de moules dans lesquels le métal, au lieu d'être versé à l'état liquide comme en *fonderie*, est introduit incandescent mais semi-solide, pâteux, et soumis ensuite à une compression ou à un choc énergiques.



Sous cette action, la matière refoulée prend l'empreinte de la cavité creusée dans les deux parties *haut* et *bas* de l'étampe et arrive ainsi presque du premier coup à la forme définitive ou tout au moins dégrossie. Dans une certaine mesure, le fonctionnement de ces appareils a quelque analogie avec celui des *gaufroirs*. La figure 89, *b* repré-

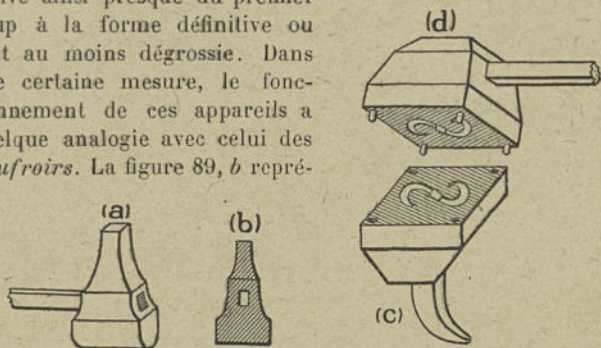


Fig. 89.

(a) dégorgeoir ; (b) étampe demi-ronde ; (c) (d) étaupes de « forme » ; (c) étampe d'en bas, ou inférieure ; (d) étampe d'en haut, ou supérieure.

sente une étampe à cavité demi-ronde pour façonner un bourrelet demi-cylindrique. Les étaupes *de forme* sont creusées suivant un profil plus ou moins compliqué selon la forme à reproduire ; les figures 89, *c* et *d* représentent une étampe de forme pour crochet en S.

7<sup>o</sup> Clouière ou cloutière. — C'est une grosse plaque massive en fonte dure, de 10 à 15 centimètres d'épaisseur, percée d'ouvertures et creusée de cannelures latérales de sections et de dimensions les plus diverses. Ces cavités servent à jouer le rôle de sortes d'étaupes pour y refouler le métal et l'amener à une forme déterminée ; si l'on veut, on peut, à l'aide du marteau, y façonner des *têtes de clous*, d'où le nom de clouière ou cloutière qu'on donne à cette masse (fig. 90).

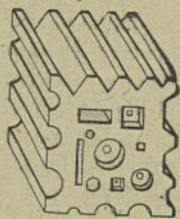


Fig. 90. — Étampe de cloutier, dite « clouière », ou « cloutière ».

8<sup>o</sup> Étaux. — Ce sont des appareils destinés à serrer et à

maintenir les pièces que l'on veut travailler. L'étau de forge ou *étau à chaud* (fig. 91) a une forme analogue à celui employé en serrurerie ou en ajustage, mais avec plus de robustesse, de manière à résister à la brutalité des chocs ; c'est dans le même

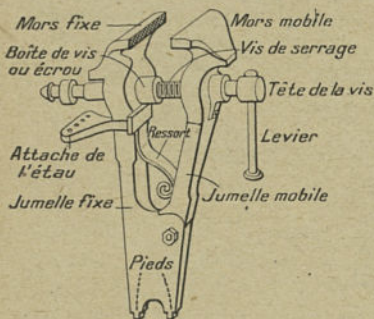


Fig. 91. — Étau de forge.

but qu'il repose par deux pieds, au lieu d'un, sur une pierre ou sur un sol dur. Les mâchoires, encore appelées *mors*, sont en fer aciéré et gravées de rainures entrecroisées comme une lime, afin d'empêcher le glissement des objets serrés.

### **Conduite et organisation du travail de forge.**

Le maître forgeron dirige le travail et celui-ci doit être exécuté *rapidement* et avec *précision*. Le métal à forger est retiré du feu sans trainer dans les scories et est parfaitement nettoyé avant d'être posé sur l'enclume.

Si la pièce travaillée est petite, elle est tenue avec la main gauche par l'intermédiaire des pinces, tandis que le marteau est actionné par la main droite. Pour les grosses pièces, le forgeage est exécuté par des aides qui manœuvrent des *marteaux à devant*, avec leurs deux mains (fig. 85, b), le maître maintient la pièce sur l'enclume, et, muni d'un marteau ordinaire, frappe lui-même un petit coup à l'endroit voulu, pour indiquer à ses aides le mouvement qu'ils doivent répéter avec leurs grosses masses. Pour interrompre, le maître frappe sur l'enclume elle-même.

Selon l'expression populaire, « il faut battre le fer pendant qu'il est chaud », donc opérer rapidement, mais avec calme, sang-froid et précision, sans précipitation fébrile et désordonnée ; sinon on s'expose à l'obligation de faire subir au métal une série de chaudes et de façons trop nombreuses, d'où un supplément de pertes par oxydation, de dépenses en combus-



tible, de perte de temps et une diminution dans les qualités du métal.

Les objets de fer et d'acier sortant bruts de forge sont trop durs pour passer immédiatement à l'ouvrier limeur qui doit donner l'ajustage définitif ; de plus, le grain d'abord grossier du métal est bien devenu plus fin par le forgeage, mais cette action s'est répartie d'une façon très inégale. Pour toutes ces raisons, il est nécessaire de *recuire* les pièces forgées à la température même du forgeage, c'est-à-dire au rouge cerise clair, en opérant d'abord lentement, surtout avec l'acier pour les raisons qui ont été exposées quand il a été question de ce métal ; il y a avantage à ce que le refroidissement du rouge clair au rouge sombre s'effectue d'abord assez rapidement, afin d'empêcher les molécules ferreuses d'obéir à leur mobilité et de se disposer en un réseau cristallin, mais le refroidissement final doit avoir lieu le plus lentement possible, au sein du poussier de charbon ou des cendres (*frasier* ou *fraisil*), ou encore dans un lit de chaux, afin d'éviter les *tapures* ou fentes externes dues à une inégalité de contraction surtout sensible dans l'acier.

Nous allons maintenant, par quelques exemples, donner une idée des diverses opérations réalisées à l'atelier de forge.

**Soudures.** — Souder deux pièces métalliques c'est les réunir solidement, soit par pénétration intime du métal des faces en regard, soit par l'interposition d'un métal différent appelé *brasure* (ou vulgairement *soudure*).

Le véritable soudage est celui de fer sur fer, acier sur acier, platine sur platine, etc., par forgeage à chaud. On peut aussi souder métal sur métal sans forger, simplement en amenant la pénétration des faces en regard par liquidité obtenue au moyen de sources calorifiques intenses : flamme du chalumeau oxyacétylénique, oxyhydrique, courant électrique ; c'est ce qu'on appelle encore la *soudure autogène* qui s'applique également bien au platine, au plomb... pas trop conducteurs de la chaleur.

Revenons au forgeage. Pour souder le bon fer à lui-même sans interposition d'un métal étranger, il faut le porter à la



température du *blanc soudant*, soit environ 1400° et faire pénétrer intimement les faces en regard par compression ou martelage. Les cas les plus usuels sont ceux où l'on a à réunir deux barres bout à bout, en les affrontant, ou bien à les réunir à angle droit. Dans le premier cas, les extrémités ayant été chauffées au blanc sont *refoulées* sur elles-mêmes (fig. 92, *a*), puis portées au blanc soudant et enfin martelées sur l'enclume. Le but du renflement, on le devine, est de s'opposer à l'amin-

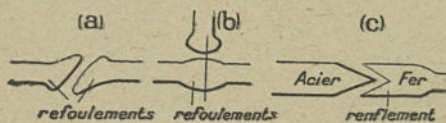


Fig. 92. — Soudage du fer à lui-même.

cissement de section que ne manquerait pas de provoquer le martelage. Si l'on a eu bien soin d'opérer sur des surfaces terminales très nettes, dépourvues de tout mâchefer ou scorie quelconque, la soudure ainsi pratiquée est la meilleure de toutes, homogène, intime, sans aucune trace ni séparation visible.

La figure 92, *b* montre la façon de procéder analogue suivie dans le cas de deux barres à angle droit.

La soudure de l'acier est possible et se réalise tous les jours, mais elle nécessite des soins spéciaux et n'est pas à la portée du premier venu. On peut aussi réunir le fer à l'acier; ainsi, par mesure d'économie, le tranchant seulement de beaucoup d'outils est en acier, le corps étant en fer; pour cela on effectue ce qu'on appelle la soudure en *gueule de loup* (fig. 92, *c*). Après avoir *refoulé* l'extrémité du fer, on creuse dans celui-ci une entaille appelée « gueule de loup », tandis que la tige d'acier est façonnée sous forme d'un *coin* plus aigu afin de faciliter l'expulsion ultérieure du mâchefer (il faut éviter de *refouter* l'acier); on frappe ensuite dans le sens de la longueur pour souder d'abord la pointe dans l'angle rentrant de la gueule de loup, puis on martèle les faces.

Une grande difficulté dans ce genre de travail réside dans ce fait que les limites dans lesquelles peut osciller la chauffe de l'acier sont très rapprochées et inférieures à la température du

blanc soudant relative au fer ; si l'on sort de ces limites, ou bien le métal est trop froid et la soudure est manquée, ou bien il y a surchauffe, le métal lance des étincelles indiquant une combustion : l'acier est *brûlé* et devenu inutilisable. L'acier dur ne doit pas être porté au-dessus de l'orangé (1200°), l'acier doux peut aller jusqu'à l'orangé clair (1300°). Pour le forgeage, toutes ces températures doivent être abaissées respectivement d'une centaine de degrés.

Pendant le travail, soudage ou forgeage, il est nécessaire de protéger l'acier contre l'action oxydante de l'air en le recouvrant de *flux* ou substances fluidifiables, capables de le préserver ou de dissoudre et entraîner les oxydes formés superficiellement. Pour le simple forgeage, on peut plonger l'acier dans un mélange d'eau et d'argile additionné de soude caustique, laisser sécher cette couche superficielle, puis porter au foyer. Pour souder, on saupoudrera d'un mélange pulvérisé de borax, de sel ammoniac et de prussiate de potassium, ou encore de borax et de limaille d'acier dur.

Le travail de l'acier nécessite donc des soins attentifs et une plus grande rapidité d'exécution encore que pour le fer. Il faudra éviter les chaudes trop nombreuses, ne faire subir à ce métal que des étirages, sans refoulements importants, afin de ne pas rompre le parallélisme des fibres, s'abstenir de forger à angles vifs et raccorder les changements de section par des congés, ménager des surépaisseurs qui disparaîtront ultérieurement par un travail à froid, ce qui éliminera les hétérogénéités superficielles.

**Brasure.** — Pour réunir deux pièces de fer que l'on ne veut ou ne peut pas porter à la température si élevée du blanc soudant, on emploie le procédé du *brasage*. Les extrémités à joindre ayant été bien nettoyées et décapées à la lime, puis ligaturées avec du fil de fer, on y dépose la *brasure*, ou *soudure forte*, composée de cuivre, de zinc et de borax pulvérisés et humectés d'eau; on peut, plus simplement, remplacer le cuivre et le zinc par du laiton en limaille ou en fil. Les choses étant ainsi préparées, on porte l'ensemble au foyer, d'abord sur le bord de celui-ci pour vaporiser l'eau lentement, puis on



enfonce au cœur du feu et l'on dirige un jet d'air au moyen d'une soufflerie ; le borax fond, on continue à souffler un peu, puis on cesse le vent et on laisse la température s'élever ; il arrive un moment où la soudure fond à son tour, s'écoule, s'insinue dans l'interstice des deux pièces, puis, subitement, il se produit à la surface un éclair fugitif avec apparition d'une petite flamme bleuâtre indiquant la combustion d'une partie du zinc ; il faut alors retirer immédiatement du feu et laisser refroidir lentement.

**Soudure faible.** — Enfin pour les pièces communes ou de peu de fatigue, on soude à l'étain et au plomb (mélange de ces métaux en diverses proportions selon les corps de métier). Les faces à réunir sont nettoyées, décapées à la lime ou au sel ammoniac, puis étamées en les garnissant de soudure et les chauffant légèrement, soit directement, soit au moyen du *fer à souder*. Cet instrument a la forme générale d'un marteau, mais la tête et la panne sont en *cuivre rouge* : il sert à prendre, transporter et déposer la soudure à condition d'être préalablement chauffé et décapé par passage sur un pain de sel ammoniac ; dans ces conditions, il suffit de passer le fer à souder sur une baguette de soudure pour qu'une certaine quantité s'y attache ; on transporte ensuite cette soudure le long des faces étamées et saupoudrées de résine. La masse de cuivre du fer à souder joue un double rôle : elle porte la soudure et chauffe les surfaces à réunir.

### **Quelques exemples d'autres travaux de forge.**

1° Fabrication d'un *boulon*. Un boulon est un cylindre de fer ou de cuivre destiné à maintenir serrées et assemblées deux poutres ou deux parties quelconques d'un objet. Dans ce but, le boulon porte, à l'une de ses extrémités, une tête carrée, hexagonale ou ronde, tandis que l'autre extrémité est munie d'un organe de serrage qui est généralement un *écrou* pouvant se visser sur le corps cylindrique du boulon.

On peut obtenir un boulon par forgeage ou par étampage et cela de diverses façons.

A) Ayant coupé une longueur suffisante dans une barre cylindrique on la chauffe au rouge et on façonné la tête du boulon dans



une clouière (fig. 90) en refoulant le bout du cylindre dans une des cavités de celle-ci, comme on le faisait autrefois dans la fabrication des clous à la forge (fig. 93, a) ; on parfait ensuite à la forme définitive soit sur l'enclume, soit à l'étampe.

B) On prépare une *bague* (fig. 93, b) de même diamètre intérieur que la tige cylindrique, en découpant un prisme de longueur convenable dans une tige à section carrée, puis enroulant ce prisme sur

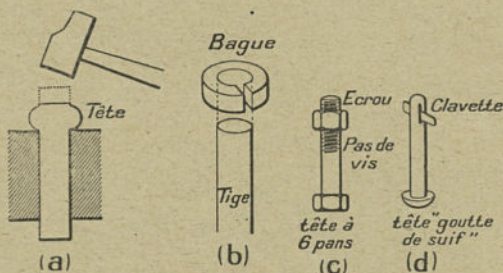


Fig. 93. — Fabrication d'un boulon à la forge.

la tige prise comme gabarit. On porte ensuite au blanc soudant la bague et l'extrémité du boulon, on introduit celui-ci dans celle-là et on martèle pour souder ; on peut terminer par un étampage pour préciser définitivement la forme.

Les boulons, fabriqués autrefois uniquement à la main, par des forgerons spécialisés qui prenaient le nom de *boullonniers*, sont maintenant obtenus mécaniquement ; la tige de fer ou d'acier, chauffée, est introduite dans une étampe en acier.

S'il s'agit d'un boulon à *river*, c'est-à-dire destiné à assembler des tôles<sup>1</sup>, il est terminé immédiatement ; s'il s'agit d'un boulon à *clavette* ou à *écrou* (fig. 93, c et d), il y aura lieu de percer la tige ou de façonner un pas de vis et un écrou taraudé.

2° Fabrication d'une *tête de bielle* à fourche. L'objet à obtenir a la forme représentée par la figure (94, f) ; il forme l'une des extrémités d'une tige appelée *bielle* destinée à *transmettre*, dans une machine à vapeur, le mouvement de la tige du piston à la manivelle calée sur l'arbre du moteur.

On commence par découper, dans un bon acier, un parallélé-

1. Voir plus loin, laminage et tôles ; assemblage des tôles.

pipède suffisamment gros (fig. 94, a) et, au moyen d'un poinçon, on pratique une ouverture O; puis, avec la tranche à chaud, on fend la barre depuis cette ouverture O jusqu'au bord (fig. 94, b). On étire ensuite l'extrémité P et donne un premier dégrossissage suffisamment indiqué par la figure 94, c. Ceci fait, on ouvre les deux branches sous un angle assez grand (fig. 94, d), afin de pouvoir les forger sur toutes leurs faces, toujours à chaud, bien entendu, et les

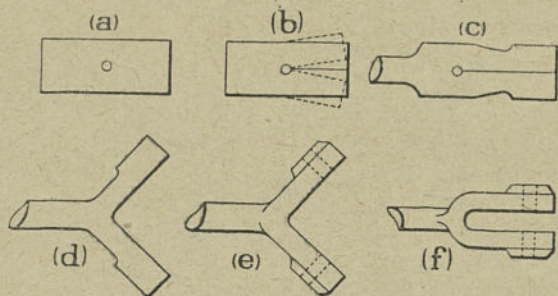


Fig. 94. — Diverses phases du forgeage d'une tête de bielle à fourche.

amener à la forme voulue (fig. 94, e). On termine en rapprochant les deux branches de la fourche (fig. 94, f). La pièce passe finalement à l'ajustage.

L'étampage qui, comme nous l'avons vu, a pour but de produire des empreintes à chaud en enfermant le métal pâteux entre deux matrices que l'on comprime, est quelquefois confondu avec l'estampage dont il sera question plus loin; il y a analogie évidente dans les procédés mais non identité complète.

## Grosse forge.

Le développement considérable de l'industrie, des constructions navales, de l'artillerie, des voies ferrées, etc., depuis un demi-siècle, ne pouvait s'accommoder des faibles moyens dont disposait l'antique forgeron. Il a fallu innover et voir toujours plus grand et surtout remplacer le travail manuel, devenu insuffisant, par le travail mécanique. On a pu obtenir ainsi aisément les énormes pièces que réclame la construction des

ponts, des transatlantiques et des canons. Le fer ou l'acier, venant directement de l'appareil producteur, sont obtenus soit sous forme de loupes dans le four à puddler, soit en lingots coulés du convertisseur ou du four Martin. Ces masses sont d'abord façonnées sous le marteau à vapeur pour chasser les scories interposées et amener la masse à une forme dégrossie préliminaire (Voir antérieurement, fig. 52). Les marteaux-pilons actuels, tels que ceux qui sont en usage dans les grands établissements métallurgiques du Creusot, d'Essen, de Rive-

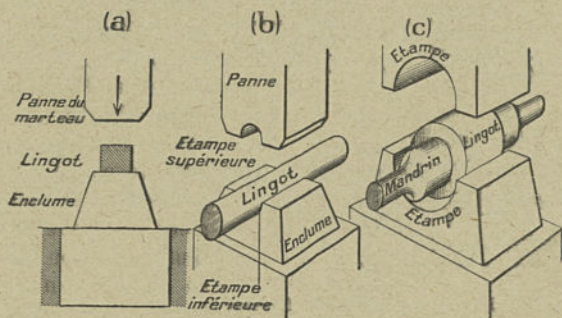


Fig. 95. — Opérations de grosse forge.

(a) forgeage d'un lingot; (b) étampage d'un arbre; (c) forgeage sur mandrin d'un manchon foré.

de-Gier, etc., frappent des masses métalliques trop lourdes pour être maintenues à la main; on a imaginé tout un système de chaînes, de grues, de ponts roulants de grande puissance qui suppléent à la faiblesse des mains.

Les lingots d'acier présentent généralement un vide axial supérieur appelé *retassure* que l'on élimine par sectionnement car, ses parois étant oxydées, ne pourraient se ressouder par le pilonnage; il n'en est pas de même des soufflures remplies de gaz réducteurs ou inertes (H, CO, Az) qui peuvent disparaître par rapprochement de leurs parois sous l'action du forgeage.

S'il s'agit d'une pièce longue et cylindrique comme un arbre de transmission, un canon, etc., la fabrication comprendra deux opérations fondamentales de forge :



A) Le *martelage* du lingot posé sur l'enclume et recevant les chocs de la *panne* plate du pilon (fig. 95, a); cette opération est l'équivalent d'un étirage de la matière et en améliore notablement les qualités mécaniques ;

B) L'*étampage*, à une température moins élevée, dégrossit ensuite la masse métallique et l'amène à une forme voisine de la définition géométrique parfaite ; cette opération se pratique

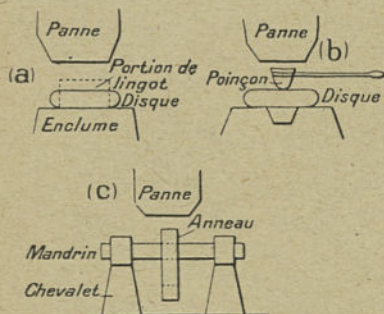


Fig. 96. — Phases successives du forgeage d'un bandage pour roue de wagon.

au moyen d'étampes, analogues à celles dont on a parlé au forgeage, mais rapportées ici d'une part sur l'enclume, d'autre part sous la panne du pilon (fig. 95, b). Pendant ce forgeage, on projette un peu d'eau pour provoquer le détachement des oxydes de battitures et l'on enlève, au besoin, au moyen de

tranches à chaud et de gouges, les portions défectueuses ou surabondantes. L'ensemble des pertes en acier, tant par suite de la suppression de la retassure, de la formation des battitures, chutes diverses et usinage à froid pour l'ajustage définitif, atteint aisément 50 pour 100 et explique le prix élevé des pièces terminées en acier.

La figure 95, c, représente le *mandrinage* d'un manchon cylindrique. Étant donnée une pièce forée comme celle-ci, il y a nécessité de la forger à *cœur*, c'est-à-dire non seulement sur sa face externe, mais aussi sur sa face interne, afin d'avoir un métal bien homogène. Dans ce but, la pièce est emmanchée sur un cylindre résistant appelé *mandrin* et pilonnée à chaud entre deux étampes héli-cylindriques. Pour obtenir le manchon on part d'un lingot préalablement porté au rouge et on le perfore suivant son axe au moyen d'un premier poinçon, puis d'un second un peu plus grand qui élargit le trou primitif et ainsi de

suite jusqu'au diamètre voulu. Ce perçage s'effectue aussi très souvent maintenant au moyen de machines-outils spéciales. Les figures 96, *a*, *b*, *c*, représentent quelques-unes des phases successives du forgeage d'un bandage de roue pour wagon.

**Laminage. — Tôle.** — Le laminage consiste soit à amener les métaux à l'état de lames plus ou moins minces, soit à leur donner un profil déterminé. L'organe essentiel est le *laminoir* composé de deux cylindres en fonte dure, superposés et d'axes parallèles, ne laissant entre eux que juste l'épaisseur que l'on veut laisser au métal (fig. 70, *b*). Chaque laminoir a souvent trois cylindres, au lieu de deux, afin de pouvoir faire repasser la pièce en sens inverse sans être obligé de la rapporter en avant. Les cylindres tournent en sens contraires, compriment le métal et, en même temps, l'entraînent.

Le fer, aplati au laminoir, prend le nom de *tôle*; on en fait de toutes les épaisseurs, depuis une fraction de millimètre jusqu'à 15 millimètres et plus pour chaudières à vapeur. La tôle était fabriquée autrefois par battage du fer au moyen d'un marteau spécial appelé *martinet* (fig. 97); on obtenait ainsi le *fer battu*. Ce procédé est maintenant abandonné et remplacé par le travail à chaud entre les cylindres d'un laminoir. On fabrique des tôles plates et des tôles *ondulées* pour toitures et constructions démontables.

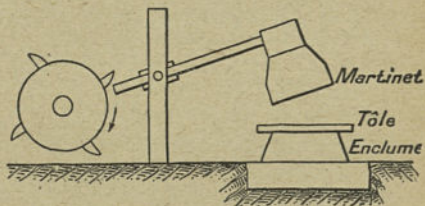


Fig. 97. — Ancien « martinet » pour l'aplatissement du fer et sa transformation en tôle.

Les feuilles de tôle sont assemblées au moyen de *rivets* (fig. 98, *a*); ces petits cylindres *a* garnis d'une tête *b* sont obtenus par étampage. Pour s'en servir, on commence par perforer les deux plaques de telle façon que les trous soient bien en regard; puis on chauffe très fortement le rivet à la forge et on l'introduit tout rouge dans le logement qu'on vient de lui



préparer. On aplatit au marteau la longueur qui dépasse de l'autre côté et on achève cette deuxième tête *c* (fig. 98, *b*) au moyen d'une *bouterolle*, sorte d'étampe dont l'extrémité est creusée selon la forme à obtenir. Par refroidissement le métal se contracte et serre fortement les deux plaques l'une contre l'autre. Il existe maintenant des *riveuses*, ou machines à river,

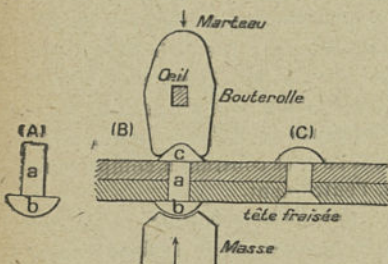


Fig. 98. — Mise en place d'un rivet pour assembler deux plaques de tôle.

que cette tête, ainsi que l'ouverture qui doit la loger, ont été travaillées avec un outil conique appelé *fraise*, de façon que cette tête ne dépasse pas la tôle.

Le laminage, produisant une compression et un étirage, *écrouit* le métal, c'est-à-dire en altère beaucoup la structure interne, d'où la nécessité de recuire avec soin, surtout les tôles minces, non seulement en fin de travail, mais encore entre les diverses passes successives au laminoir. Les réchauffages et le recuit s'effectuent dans des caisses fermées, à l'abri de l'oxydation, au sein de fours spéciaux. Après réchauffage, les tôles glissent sur des rails inclinés les conduisant au laminoir. D'une manière générale, le recuit est de toute nécessité après plusieurs passes de tout travail à froid, qu'il s'agisse de laminage, de mandrinage ou d'étirage.

Les laminoirs servent aussi à obtenir des barres profilées comme des rails, poutres métalliques, etc.; il suffit que la surface des cylindres soit creusée de *cannelures* de formes correspondantes et de grandeurs décroissantes, entre lesquelles le



lingot rouge passe successivement en se dégrossissant progressivement. Les bandages de roues pour wagons sont finis par un passage entre deux laminoirs, l'un supérieur profilé suivant la jante, l'autre intérieur jouant le rôle d'un mandrin enfilé dans la roue.

**Presse hydraulique.** — Outre les marteaux-pilons qui sont des instruments opérant par chocs, donc par actions brus-

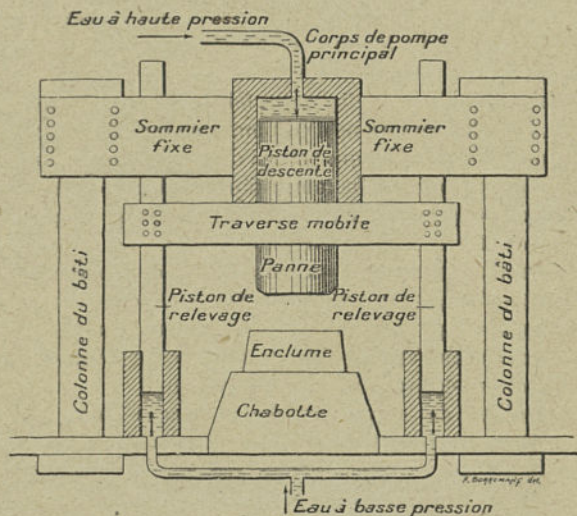


Fig. 99. — Disposition schématique d'une presse hydraulique pour forge.

ques et discontinues, on trouve maintenant, dans toutes les forges importantes, un autre appareil, la *presse hydraulique*, capable de produire des pressions énormes sans aucune secousse.

La presse se compose d'un corps de pompe principal, placé à la partie supérieure de l'appareil, et dans lequel peut se mouvoir un piston commandant la panne ou frappe du marteau (fig. 99). Ce piston est relié à une traverse mobile, qui, elle-même, est commandée par deux pistons de relevage de

grande longueur, mobiles dans deux petits corps de pompe situés à la partie inférieure ; c'est dans ces derniers cylindres qu'on fait arriver de l'eau à faible pression pour faire remonter la frappe quand il en est besoin ; veut-on, au contraire, faire descendre celle-ci, on fait arriver de l'eau à haute pression dans le corps de pompe principal.

Sous l'influence de cette contrainte puissante et continue, le métal chaud et doué d'une certaine plasticité s'écoule pour ainsi dire, se courbe, se comprime et se moule dans les cavités résistantes où on le refoule, sans qu'on ait à craindre la production de criques ou de fendillements.

Le forgeage lui-même s'opère parfaitement sous l'action de la presse, dans des conditions d'économie, de rapidité et de précision supérieures à celles que permet d'obtenir le marteau pilon.

Mais c'est surtout pour la fabrication des objets par étampage, par emboutissage entre matrices, pour le courbage ou gabariage des barres et des plaques, etc., que l'emploi de la presse est recommandable à cause de sa puissance et de sa douceur<sup>1</sup>.

**Emboutissage et estampage.** — Nous avons déjà suffisamment expliqué antérieurement en quoi consiste l'*étampage* ; nous avons exposé aussi le procédé de l'*emboutissage* (fig. 69, d) qui dérive d'un principe analogue.

Les feuilles de cuivre, de fer et d'acier doux peuvent s'emboutir à froid et être transformées en surfaces sphériques ou cylindriques, en tubes, etc., grâce à une sorte d'étirage consécutif à l'emboutissage et qui amène une diminution d'épaisseur du métal. Le plus généralement, on n'arrive pas du premier coup à la forme définitive, mais par une suite d'évolutions successives, au moyen de matrices qui précisent progressivement la forme ; on peut ainsi obtenir tous objets de chaudronnerie, des ustensiles de cuisine et de ménage, des douilles de cartouches, des boutons, etc., sans l'intervention d'*aucune soudure*.

L'*estampage* a pour but de produire ou de découper dans des

1. Il existe des presses hydrauliques à forger de 4.000 tonnes et plus de puissance d'action.

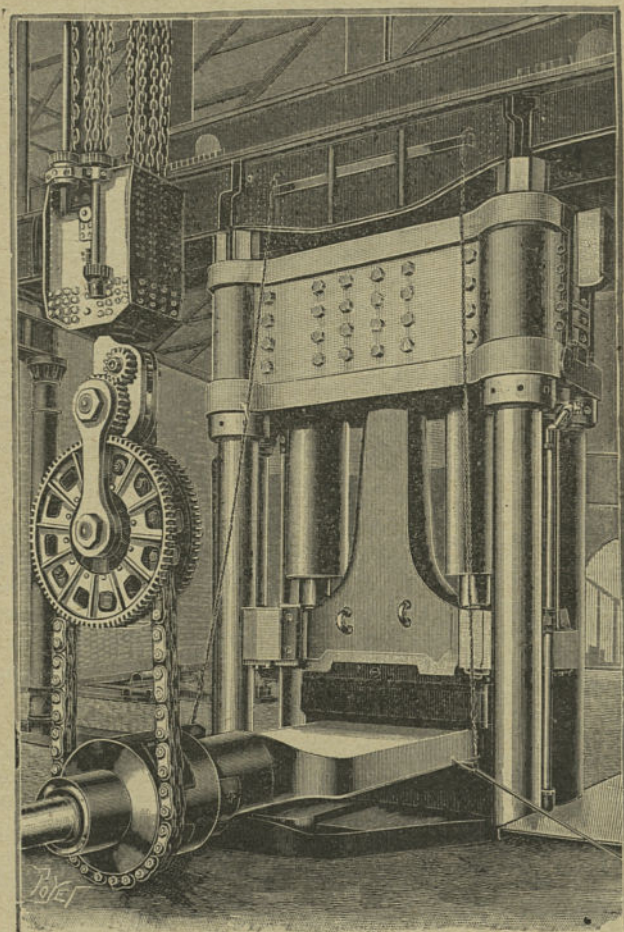


Fig. 100. — Presse hydraulique de 8000 tonnes servant à aplatir une plaque de blindage.

feuilles métalliques des motifs ornementaux en creux ou en

IRIS - LILLIAD - Université Lille



relief; il s'opère à froid, au moyen de matrices et de contre-matrices, et a beaucoup d'analogie avec l'emboutissage et l'étampage. On obtient par ce procédé une infinité d'articles de bijouterie, de gainerie et maroquinerie, etc. En chaudronnerie, après avoir fabriqué la forme générale du vase par le procédé de l'emboutissage, on peut produire, sur cette surface, des ornements ou reliefs quelconques par estampage. Le cuivre martelé, le fer repoussé sont obtenus par une sorte d'emboutissage au moyen du marteau et d'une *forme* intérieure.

Pour *frapper* une médaille ou une pièce de monnaie, on commence par fabriquer une plaque de l'alliage et on y découpe une série de disques ou *flancs* du diamètre voulu; on introduit ensuite un de ces disques entre deux *coins*, ou masses d'acier gravées en creux et formant par leur juxtaposition, deux sortes d'étampes ou matrices, dans les détails desquelles le métal devra se mouler, sous l'action du choc énergétique communiqué au système par un instrument appelé *balancier* ou presse monétaire.

Le *gabariage* consiste à amener une plaque épaisse, comme celle d'un blindage, à la forme courbe qu'elle doit présenter finalement. Dans ce but, la plaque est chauffée au rouge très sombre seulement, puis portée sur l'enclume en la faisant reposer, non pas directement, mais sur deux tasseaux laissant entre eux un vide qui permettra à la plaque de se courber sous l'action de la presse (fig. 70, c).

Pour achever de préciser dans l'esprit toutes ces notions techniques, nous prendrons comme exemple la fabrication d'une de ces plaques de blindage dont nous venons de parler. L'acier doux est d'abord coulé dans une lingotière pouvant contenir la quantité de métal nécessaire; puis le lingot encore rouge est soumis à l'action d'une presse hydraulique puissante qui l'aplatit et l'amène grossièrement à la forme d'une plaque (fig. 100). Celle-ci, encore chaude et malléable, passe aussitôt après entre les cylindres d'un laminoir qui régularisent son épaisseur (fig. 101). La plaque est ensuite cémentée superficiellement, en vue du *harveyage*, c'est-à-dire qu'elle est fortement chauffée pendant deux semaines en présence du charbon de bois et à l'abri de l'air. Elle est ensuite réchauffée et gabariée, c'est-à-dire cintrée à la

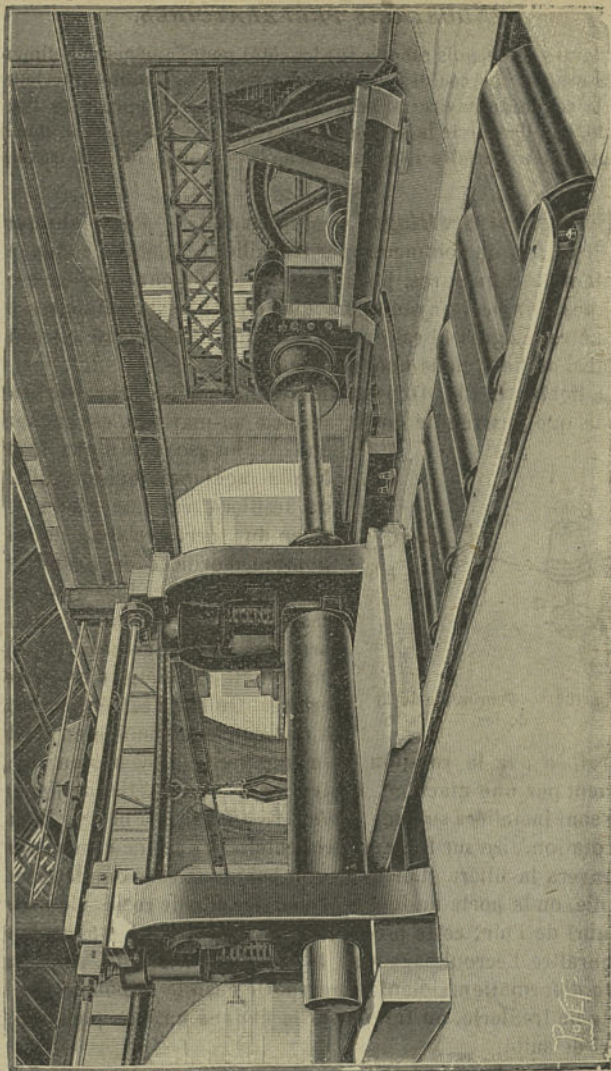


Fig. 101. — Laminage d'une plaque de blindage.

courbure voulue, puis rabotée sur les côtés pour l'amener aux dimensions exactes, percée des trous nécessaires à sa fixation ultérieure sur la coque du navire et enfin chauffée, puis trempée dans l'eau froide, afin de durcir la surface (harveyage). Un passage à la meule d'émeri pour parfaire l'ajustage définitif, termine tout ce travail.

**Étirage et tréfilage.** — **Fil de fer.** — Pour fabriquer du fil de fer, on commence par travailler ce métal à chaud, au laminoir à cannelures, jusqu'à ce qu'on obtienne des tiges ou longues tringles n'ayant plus que cinq à six millimètres de diamètre. Ce gros fil est enroulé sur une forte bobine et recuit à l'abri de l'air, dans une caisse close.

La bobine B' (fig. 102) est alors calée sur un arbre vertical, tandis que l'extrémité du fil, amincie au marteau, est engagée dans le plus gros trou d'une filière F solidement maintenue.

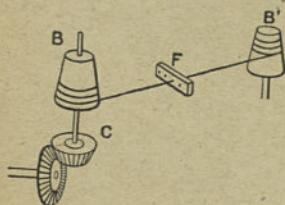


Fig. 102. — Fabrication du fil de fer.

La filière est une plaque en acier dur, perforée d'un certain nombre d'orifices de grandeurs décroissantes (fig. 103, a) et encastrée dans un support à quatre branches verticales (fig. 103, b); on voit en c la coupe d'un de ces orifices. On fixe l'extrémité du fil à une deuxième bobine en fer B,

entraînée par la rotation d'un axe vertical BC mis en mouvement par une machine. Toutes ces diverses parties de l'appareil sont installées sur une *table de tréfilerie*. La bobine B, par sa rotation, tire sur le fil et force celui-ci à s'amincir en passant à travers la filière. Lorsque cette bobine B est complètement garnie, on la porte au four à réchauffer afin de recuire le métal à l'abri de l'air; cette précaution est indispensable pour faire disparaître l'érouissage que le fer a contracté en subissant cette déformation violente. On reporte ensuite la bobine sur la table de tréfilerie, on fait passer le fil dans un trou plus fin, et ainsi de suite.

Les parois des trous de filière s'usent très rapidement, on les



garnit intérieurement de chapes perforées en agate, en rubis, ou en diamant noir.

On opère aussi le tréfilage en installant la filière sur un madrier long et résistant appelé *banc à tirer* ; celui-ci porte, à l'extrémité opposée à la filière, une roue dentée mise en mouvement par un treuil mû à la main, ou électriquement ; sur cette roue dentée s'enroule une chaîne à maillons dite « chaîne Galle », dont une extrémité porte une forte pince, ou *chien*, qui saisit le fil et lui fait subir la traction nécessaire.

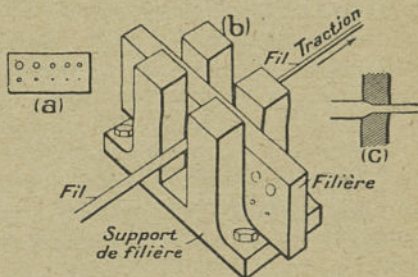


Fig. 103. — Filière de tréfilerie.

On peut encore fabriquer, au moyen de la filière et du banc à tirer, non seulement le fil de fer, de cuivre, de laiton, etc., mais encore tout *ruban* métallique profilé suivant une section quelconque : demi-cylindre creux, cornière, etc. De tels rubans, découpés ensuite à la longueur convenable, puis ornés par estampage, refendus partiellement à 45 degrés en certains points et repliés convenablement, enfin soudés, dérochés, polis, nickelés ou dorés, servent à fabriquer quantité d'articles de Paris (cadres photographiques, fermoirs de bourses, etc.).

On mesure l'épaisseur des fils et des lames soit en se servant de petits appareils tels que le *pied-à-coutisse* ou le *palmer* d'ajusteur, soit au moyen de plaques appelées *jauges* qui portent une série de perforations numérotées selon le diamètre de celles-ci. La *jauge métrique*, seule légale, procède par dixièmes de millimètre ; malheureusement, son emploi est trop souvent encore supplanté par celui d'autres jauges, qu'une routine condamnable a maintenues, et qui n'obéissent pas à une progression simple et rationnelle : la *jauge de Paris* pour les fils de fer et la *jauge dite carcasse* pour les fils fins d'or, d'argent, etc. de la passementerie.

## IV. — OUTILS ET MACHINES-OUTILS —

**Considérations générales.** — Les opérations de forge ou de fonderie fournissent un objet qui a très approximativement la forme requise, mais cependant pas d'une façon entièrement rigoureuse. Cette pièce brute, dégrossie, doit maintenant subir un travail d'ajustage définitif, afin qu'elle puisse remplir parfaitement son rôle sans gêner les pièces voisines, c'est-à-dire sans chocs ni frottements excessifs capables d'arracher des parcelles métalliques et d'amener par cela même un *grippement* (mouvement saccadé et vibrant) ou un *coincement* (arrêt). La qualité dominante d'un bon ajustage doit donc être la *précision*.

Ainsi il faut enlever à la matière brute, de forme approchée, ce qui est en excès sur la forme exacte; cette ablation peut s'effectuer soit en surface, soit en profondeur :

A) En *surface*; on peut buriner, gratter, limer, aléser, raboter, fraiser, creuser en filet (fileter, tarauder);

B) En *profondeur* suivant un plan; on peut trancher, scier, cisailer...; ou suivant une direction rectiligne déterminée : percer, perforer.

Ces diverses opérations ne peuvent être exécutées au hasard et sans méthode; il faut déterminer préalablement les limites d'*abrasion* par des opérations et au moyen d'instruments de *traçage*.

Les travaux une fois faits, il faudra *vérifier* le résultat obtenu; des *instruments de vérification* vont alors intervenir. Enfin, il faudra réunir les diverses parties constitutives de l'objet et, pour cela, employer des outils d'assemblage, de serrage, etc.

**Outils et machines-outils.** — Chacune des opérations qui constituent le travail d'ajustage s'effectue avec un outil tranchant, simple ou composé, ce dernier agissant comme la réunion d'une série d'outils simples.

Mais, à côté de l'outil *actif*, c'est-à-dire qui travaille, il y a

lieu nécessairement d'envisager l'outil *passif* qui ne fait que jouer le rôle de *support*, fixe ou mobile, de l'objet ou de l'outil actif.

C'est qu'en effet l'outil et l'objet doivent recevoir un mouvement l'un relativement à l'autre, soit que l'outil restant fixe, l'objet se déplace, soit inversement que ce dernier ne bouge pas tandis que le premier est mobile.

Le mouvement relatif en question peut être donné simplement à la main (outils manuels) ou bien, sans le concours de l'artisan, au moyen de machines dénommées alors *machines-outils*.

Lorsque l'outil est mû à la main, il est nécessairement animé d'un mouvement alternatif, limité, généralement rectiligne. Le travail produit en un temps donné est alors faible.

L'emploi de machines permet non seulement d'accroître la vitesse, mais surtout de transformer le mouvement alternatif de va et-vient en un mouvement circulaire continu, dont le rendement est bien plus considérable et qui constitue le terme ultime du progrès.

Voici l'ordre que nous suivrons dans l'exposé que nous allons faire de l'outillage : après avoir donné une idée des instruments de traçage et de vérification, nous aborderons ensuite la description et le fonctionnement des *outils simples manuels* et, ayant ainsi compris le rôle des organes fondamentaux du travail mécanique, nous serons à même d'en aborder la synthèse dans les *machines-outils*.

## Instrument de traçage et de vérification.

### A. — TRAÇAGE

Étant donnée une pièce brute, il faut dessiner sur sa surface un certain nombre de traits destinés à indiquer les limites que ne doivent pas dépasser les outils, ainsi que les axes autour desquels les pièces centrées sont assujetties à tourner. Ce traçage doit être exécuté avec la plus grande précision, en se guidant d'après les dessins, ou *bleus*, qui sortent du bureau de l'ingénieur.



Comme il faut pouvoir tracer des lignes de niveau, droites ou courbes, à des hauteurs déterminées, il est nécessaire, tout d'abord, de posséder un *plan de référence* à partir duquel on pourra compter les « cotes » et qui servira à tracer les parallèles. Ce plan est constitué matériellement par une plaque de fonte parfaitement planée, connue dans les ateliers sous le nom de *marbre* (fig. 104). Les objets reposent sur cette surface par l'intermédiaire

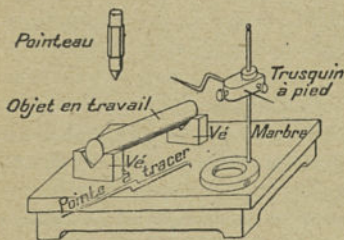


Fig. 104. — Divers instruments de traçage.

de supports spéciaux appelés *vés* (fig. 104).

Le *traçage en l'air* — ou dans l'espace — s'effectue au moyen d'une pointe portée par un *trusquin* (fig. 104); cet instrument se compose d'un pied bien plané pouvant glisser

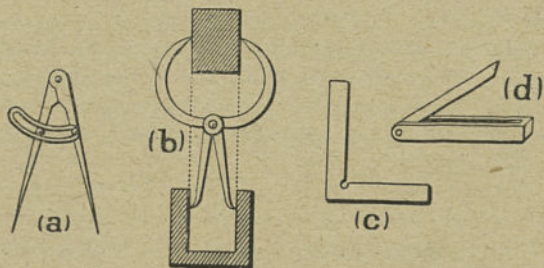


Fig. 105. — Instruments de traçage.

- (a) compas; (b) « maitre de danse »; (c) équerre simple; (d) fausse équerre, ou « sauterelle ».

sur le marbre et duquel part une tige verticale le long de laquelle peut monter ou descendre une garniture cylindrique qui porte la pointe. Les menuisiers emploient un *trusquin à main* (fig. 106) qui permet de tracer une ligne parallèle au bord d'une planche bien dressée.

Le *tracage à plat* — ou sur une surface plane, tôle, etc. — s'exécute avec la *pointe à tracer* d'ajusteur (fig. 104) ou de menuisier (fig. 106). On guide la pointe au moyen d'une règle plate. Les angles droits ou quelconques se tracent ou se relèvent avec diverses équerres (fig. 103, *c, d*) ; les circonférences avec un compas (fig. *a*) ; les épaisseurs ou les creux avec un *maitre de danse* (fig. 103, *b*), ou au moyen d'instruments plus précis dont il est parlé plus loin (vérification).

Une fois la pièce tracée, c'est-à-dire délimitée et charpentée géométriquement, on jalonne les traits d'un certain nombre de fines cavités coniques obtenues au moyen d'un cylindre pointu, en acier

dur, dit *pointeau* (fig. 104), sur la tête duquel il suffit de frapper un léger coup de marteau. Ce pointage facilite beaucoup le travail d'exécution en rendant le tracé plus visible sans lui ôter de sa précision. On pointe aussi, bien entendu, les abouts des axes ainsi que les circonférences ; pour celles-ci, quatre pointes suffisent. Le travail d'ajustage doit finalement faire disparaître toutes ces petites cavités.

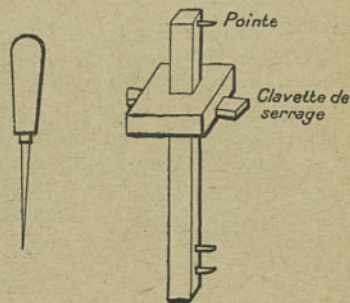


Fig. 106. — Instruments de tracage.  
Pointe à tracer et trusquin de menuisier.

## B. — VÉRIFICATION

L'ajusteur doit s'assurer que les pièces travaillées ont bien les dimensions indiquées sur le dessin, ou « bleu » ; il y parvient au moyen d'instruments de mesure ou de contrôle.

Les instruments de mesure sont composés en principe d'une règle millimétrique munie d'un *dispositif mobile de contact* pour les pleins et les creux et d'un dispositif d'appréciation des subdivisions du millimètre. La figure 107, *a* représente un

*pied à coulisse*; les deux talons, le fixe et le mobile, portent chacun un *bec* externe pour la mesure de l'alésage ou diamètre intérieur d'un cylindre creux.

L'appréciation des subdivisions du millimètre se fait au moyen d'un *vernier*; chaque division de celui-ci ne vaut que  $9/10$  de millimètre; si le zéro du vernier coïncide avec une division de

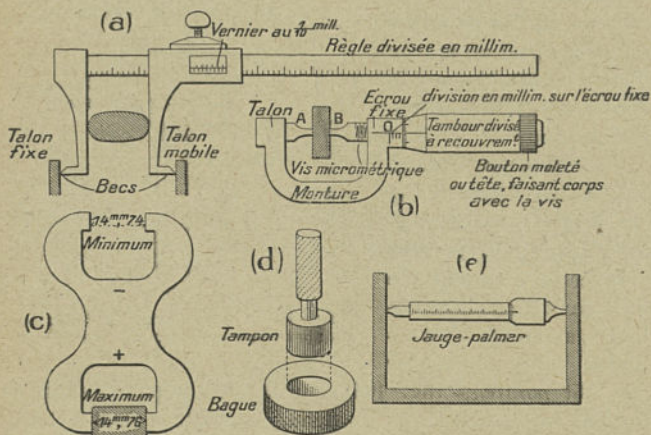


Fig. 107. — Instruments de mesure et de contrôle.

(a) pied à coulisse; (b) palmer; (c) et (d) calibres de tolérance; (e) palmer d'alésage.

la règle, on lit purement et simplement le nombre de millimètres compris entre zéro-règle et zéro-vernier; si le zéro du vernier ne coïncide pas avec une division-règle, on examine quelle est la division du vernier qui satisfait à cette condition: supposons que ce soit la septième, cela signifie qu'il faut ajouter  $7/10$  de millimètre à la longueur comprise entre le zéro-règle et la division-règle qui est immédiatement à gauche du zéro-vernier.

La figure 107, b représente un *palmer*, instrument plus précis que le pied-à-coulisse. La division en millimètres est gravée sur l'écrou fixe cylindrique qui se prolonge invisible sous le tambour divisé; lorsqu'on tourne la tête de celui-ci, le biseau



divisé (en 100 parties) découvre un nombre de millimètres précisément égal à l'épaisseur AB comprise entre les becs, *plus une fraction* indiquée en centièmes de millimètre par la division du biseau qui se trouve alors en face de la graduation longitudinale du tambour.

La figure 107 e, représente un genre particulier de palmer agencé pour l'évaluation de l'*alésage* ou largeur d'un vide.

A côté des instruments précédents, qu'on pourrait qualifier de *calibres mesureurs réglables*, on emploie très souvent, notamment dans le cas où l'on a à fabriquer un grand nombre de pièces en série<sup>1</sup>, des appareils de *contrôle* qu'on appelle des *jauges* ou *calibres fixes*; ces instruments sont destinés, non pas tant à faire connaître la grandeur en millimètres, c'est-à-dire la *mesure* même de la distance étudiée, mais simplement à *constater* si elle est bien égale à une dimension-type, ou *étalon*, imposée d'avance. Quel que soit le soin avec lequel un travail quelconque puisse être exécuté, il est impossible d'atteindre la précision absolue, mathématique, sauf par hasard (et alors on ne s'en doute pas); il faut admettre et *fixer des limites de précision* ou *tolérances* comme cela a lieu, par exemple, pour les pièces de monnaie (tolérance sur le *poids*, tolérance sur le *titre*) les alliages de bijouterie, les masses marquées que l'on place sur une balance, etc. Ce qu'on ne peut pas ambitionner, c'est donc l'absolu dans l'exactitude, mais ce qu'on peut et ce qu'on doit faire, c'est de fixer des limites aux écarts d'imprécision; un-moyen simple et commode est de construire des *jauges fixes* ou *calibres fixes de tolérance* à deux indications, l'une maxima, l'autre minima (fig. 107, c): si, par exemple, une lame ou une plaque peut entrer dans la fourche +, mais non dans la fourche —, on peut être assuré que son épaisseur est :

14 mm. 76 au maximum,  
14 mm. 74 au minimum;

la plaque sera mise au rebut si elle *n'entre pas* dans le maximum

1. Fabriquer une pièce en *série*, c'est la répéter un grand nombre de fois identique à elle-même ou à un modèle-type, ou *étalon*.

(trop épaisse) ou si elle entre dans le minimum (extrême limite, ou bien trop mince).

La figure 107, *d* représente une couple de calibres fixes cylindriques pour contrôler les pièces rondes, pleines ou creuses ; il en existe d'analogues pour les profils coniques ; le calibre plein porte le nom de *tampon*, et le calibre creux celui de *bague*.

Rappelons l'existence des *jauges* pour fils métalliques, que nous avons mentionnées antérieurement. (Voir « tréfilage ».)

**Calibres-étalons Johansson.** — Le développement si rapide de l'industrie des machines-outils et de celle des automobiles a imposé

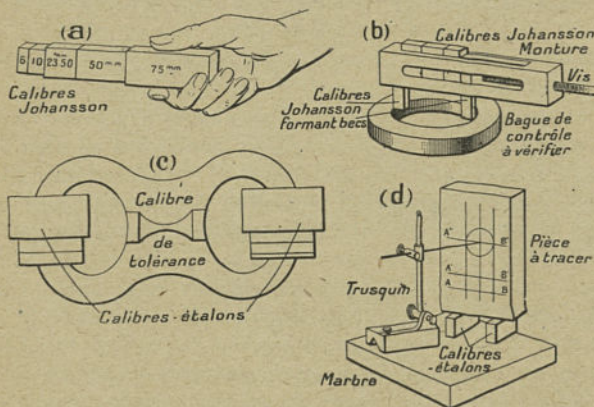


Fig. 108. — Utilisation des calibres-étalons Johansson.

non seulement la fabrication d'un grand nombre de pièces en série mais en outre, en vue des réparations, la nécessité de l'*interchangeabilité* ; il faut, lorsqu'une pièce d'un mécanisme est usée ou détériorée, pouvoir la remplacer rapidement par une autre absolument identique, capable de jouer le même rôle : deux pièces qui satisfont à cette condition sont dites *interchangeables*, ceci ne peut être obtenu que si toute la fabrication d'une usine est soumise au contrôle de *jauges limites* ou *jauges de tolérance* dont on soit absolument sûr ; il faut donc, en quelque sorte, contrôler les instruments de



contrôle eux-mêmes au moyen d'appareils encore plus exacts, d'une précision bien supérieure à la tolérance admise elle-même ; il faudrait avoir, pour cela, un jeu de calibres irréprochables, ou employer certains appareils de haute rigueur usités dans les cabinets de physique (*sphéromètres*, appareils à franges d'interférences, etc.), ou s'adresser au bureau international des poids et mesures (Pavillon de Breteuil à Meudon, près Paris), qui dispose d'un appareil extrêmement précis appelé *comparateur*.

Mais tout ceci constitue une difficulté ou tout au moins une perte de temps qui peut être évitée par l'emploi des *calibres-étalons* en acier de M. Johansson : ce sont des parallélépipèdes à faces rigoureusement parallèles et dont l'épaisseur est celle qui y est gravée ; l'approximation certaine est poussée jusqu'au centième et même jusqu'au millième de millimètre. Pour réaliser une épaisseur ou un intervalle quelconque, il suffit de superposer un nombre convenable de ces étalons de manière à former une combinaison dont la somme est égale à la grandeur demandée, absolument comme on se sert du contenu d'une boîte de poids pour former une somme représentant le corps à peser.

Vu l'extraordinaire exactitude de ces étalons, il est nécessaire de les tenir parfaitement propres, à l'abri de l'oxydation, et de les assembler en évitant la présence des grains de poussière. La précision du travail est telle, le contact est si parfait, la planitude si bien réalisée que l'adhérence naturelle suffit à les maintenir bout à bout (fig. 108, a).

Les figures 108, *b*, *c*, *d* indiquent quelques-uns des nombreux usages de ces étalons :

Figure *b* : Vérification d'une bague-jauge au moyen des calibres-étalons montés et formant une sorte de calibre à becs ;

Figure *c* : Vérification d'un calibre de tolérance ;

Figure *d* : Traçage d'une pièce de machine ; soit à tracer diverses lignes parallèles AB, A'B', A''B'' à des distances déterminées ; la pièce étant debout, la pointe du trusquin restant toujours à la même hauteur, on surélève chaque fois la pièce à la hauteur voulue au moyen des calibres-étalons pour obtenir les lignes cherchées.

Pour tracer les lignes verticales, il suffit de placer la pièce « de champ » et opérer d'une façon analogue.



## Outils passifs ou supports d'outils ou de pièces.

Comme cela a été dit antérieurement, le mouvement relatif de la pièce et de l'outil peut être obtenu soit en maintenant l'objet fixe et faisant alors manœuvrer l'outil, soit en entraînant l'objet dans un mouvement de rotation et laissant l'outil fixe.

Le premier cas est celui du travail sur *étau*; le second est celui du travail au *tour*.

L'étau et le tour sont ce que nous appelons des outils passifs parce qu'ils ne jouent que le rôle de supports.

**Étau.** — C'est un outil indispensable à l'ajusteur et au menuisier, quoique celui-ci l'emploie sous une forme un peu différente qu'il appelle *presse d'établi*.

L'étau d'ajusteur ou de mécanicien peut affecter diverses formes : à pied (fig. 91); à agrafes servant à le fixer; étau

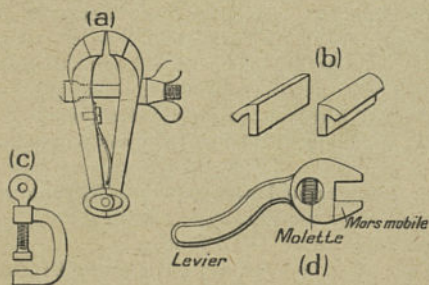


Fig. 109. — Supports et organes de fixation.  
 (a) étau à main; (b) mordaches; (c) presse serre-joint;  
 (d) clef à molette.

*parallèle* dans lequel le mors mobile se déplace en restant constamment parallèle au mors fixe, au lieu de pivoter; enfin l'étau à main (fig. 109, a) destiné, comme son nom l'indique, au travail des menus objets qu'on maintient par l'intermédiaire de la main gauche et de cet étau. Les travaux délicats exigent que la pièce ne subisse pas directement l'empreinte brutale et éraillante des mors; aussi recouvre-t-on chacun de ceux-ci d'une feuille de plomb plus ou moins épaisse appelée *mordache* (fig. 109, b). A côté de l'étau il y a lieu d'indiquer les autres *outils de serrage* employés par les serruriers, mécani-

ciens, ajusteurs, etc. pour saisir et fixer divers objets et surtout pour serrer fortement les écrous sur le pas de vis des boulons. La figure 109, *d* représente une *clef à molette* ; cet instrument comporte deux mors à écartement variable dont le mouvement est obtenu par la manœuvre d'une vis intérieure appelée *molette*. On peut ainsi saisir des écrous de toutes dimensions. Il existe aussi une autre clef, dite *anglaise*, à écartement

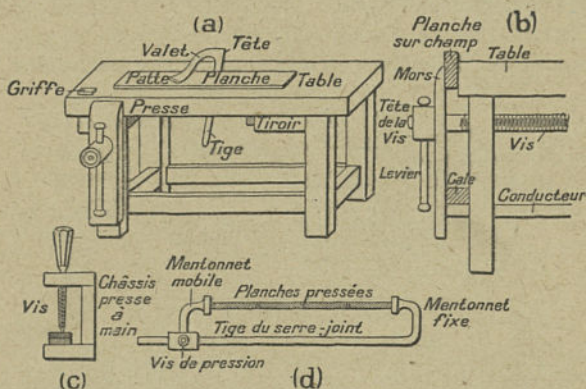


Fig. 110. — Outils et matériel de menuisier.

(a) établi ; (b) coupe de la presse ; (c) presse à main ; (d) serre-joint ;  
(vulgo « sergent »).

variable, dont la forme rappelle celle d'un marteau. La figure *c* est une presse *serre-joint*.

Le menuisier maintient en place le bois qu'il travaille au moyen d'un certain nombre de dispositifs représentés (fig. 110). La table de travail s'appelle *établi*, son plan supérieur, en bois épais et résistant, s'appelle précisément la *table* et est percée de plusieurs orifices destinés à laisser passer la tige d'un organe de serrage dénommé *valet* que l'on assujettit par un coup de *maillet* (sorte de marteau en bois) ; pour fixer une planche, non plus à plat, mais de *champ*, lorsqu'on veut en travailler la tranche, on l'introduit entre la table et le *mors* de la presse (fig. 110, *b*) ; il est bon, alors de placer à la partie inférieure

de celle-ci, dans le voisinage d'une tige-guide appelée *conduc-teur*, une cale en bois d'épaisseur convenable afin d'obtenir un serrage *bien parallèle*. Les figures 110 indiquent suffisamment la composition de l'établi et l'usage de ses diverses parties. La figure 110, *c* représente une *presse à main* utile pour assembler momentanément les pièces mises en œuvre ; la figure *d* représente un outil du même genre, mais plus long, appelé *serre-joint* (vulgairement *sergent*).

**Tour.** — Comme son nom l'indique, le tour est un support qui tourne sur lui-même en entraînant dans ce mouvement la

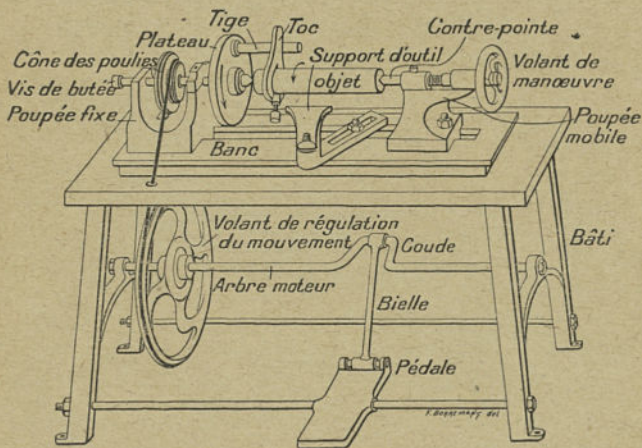


Fig. 111. — Tour ordinaire à pédale.

pièce qui y est fixée. La rotation s'effectue généralement autour d'un axe horizontal. Pour obtenir ce résultat il faut : 1° un système moteur qui, dans les petits ateliers, est le plus souvent l'action du pied sur une pédale (fig. 111) ; cette pression met en mouvement un *arbre* qui entraîne un *volant* de régulation, et celui-ci, par l'intermédiaire d'un cordeau, fait mouvoir le tour ; 2° l'arbre du tour qui porte un cône de poulies de divers diamètres, lesquelles reçoivent directement l'action motrice du



cordeau ; sur cet arbre est vissé un *plateau* portant une *tige pousse-toc* dont l'utilité va être comprise tout à l'heure ; 3° un système de supports de l'axe de rotation, composé de deux organes appelés *poupées* (fig. 111) : la poupée de gauche, ou *poupée fixe*, supporte le cône des poulies recevant l'action motrice, et la poupée de droite, ou *poupée mobile*, ainsi appelée parce qu'elle peut être éloignée ou rapprochée à volonté de la poupée fixe par glissement sur une couple de plaques de fonte

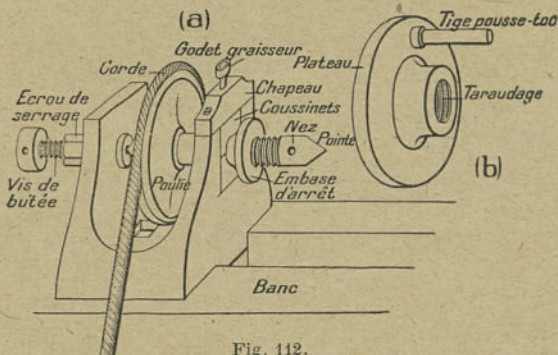


Fig. 112.

(a) poupée fixe ; (b) plateau.

bien planées et parallèles, dont l'ensemble constitue le *banc de tour* ; ce banc, ainsi que la pédale, l'arbre moteur et le volant de régulation, sont fixés sur le *bâti* composé d'une table et de quatre pieds ; 4° un dispositif *entraîneur* établissant une solidarité entre l'arbre du tour et l'objet à ouvrir ; il existe différents systèmes pour atteindre ce but ; celui de la figure 114 est un des plus simples et des plus répandus ; l'organe essentiel est le *toc* représenté à part (fig. 114, a) et dont le mode d'emploi se comprend par l'inspection de la figure : l'objet, serré par la vis, fait corps avec le toc, et la queue de celui venant buter contre la tige du plateau (fig. 111), l'entraînement se produit ; 5° un support d'outil, déplaçable à droite et à gauche parallèlement au banc, et assez semblable à un mors d'étau ; ce support

peut être fixé invariablement en un point quelconque au moyen d'un écrou de serrage.

La figure 112, *a* représente à part la poupée fixe avec ses principaux détails ; l'arbre du tour est porté : à droite, par un système de deux *coussinets* en bronze, muni d'un godet graisseur adapté au *chapeau* mobile qui maintient les coussinets ; à gauche, la pointe de l'arbre s'engage dans une petite cavité conique ménagée au centre de la face terminale d'une vis dite

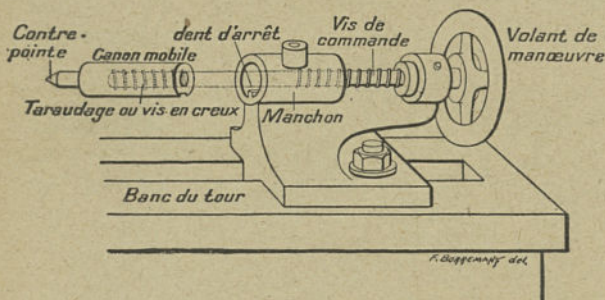


Fig. 113. — Poupée mobile.

*vis de butée*, parce que cette vis, pouvant avancer axialement vers la droite ou vers la gauche, sert à *buter* l'arbre tout en le supportant, c'est-à-dire l'empêche de se déplacer suivant l'axe. L'extrémité de droite de l'arbre, ou nez, est filetée, c'est-à-dire creusée en pas de vis, et terminée par la pointe ; sur le pas de vis, on peut adapter le *plateau* muni de sa tige poussetoc (fig. 112, *b*).

La poupée mobile (fig. 113) supporte une pointe axiale dite *contre-pointe* adaptée à l'extrémité d'un cylindre creux appelé *canon* pouvant glisser dans le *manchon* de la poupée ; l'intérieur de ce canon est *taraudé*, c'est-à-dire creusé en pas de vis, et peut recevoir les filets d'une vis de commande manœuvrée par un volant à main ; en tournant celui-ci dans un sens ou dans l'autre, on fait avancer ou reculer la contre-pointe.

D'après ces explications, il est facile maintenant de se rendre compte du mode d'emploi et du fonctionnement du tour ; sup-

posons qu'il s'agisse d'amener à la cylindricité parfaite une barre de bois ou de métal grossièrement façonnée à la forme cherchée ; on sectionne ses extrémités suivant deux bases bien perpendiculaires à l'axe général de la pièce ; on donne un coup de *pointeau* au centre de chacune de ces bases, afin de définir l'axe matériellement, et l'on dispose la pièce horizontalement

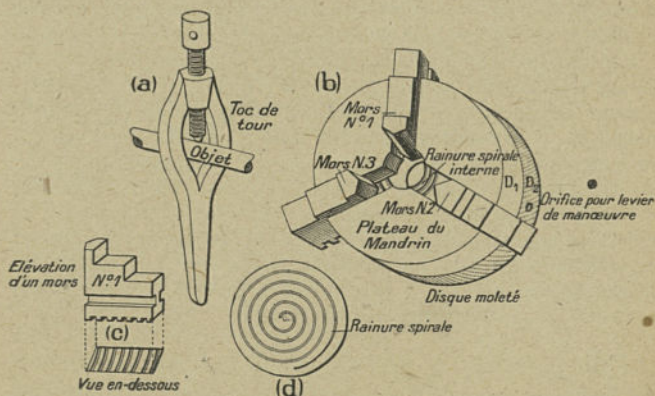


Fig. 114. — Organes d'entraînement de l'objet à travailler.  
 (a) toc; (b) mandrin américain, vue d'ensemble; (c) un des mors ;  
 (d) rainure du plateau.

entre les pointes, après l'avoir saisie dans l'*œil* du *toc*, comme l'indique la figure 114. On installe l'outil de tour (voir ci-après) de façon que son extrémité coupante, maintenue par la main gauche, effleure légèrement la matière et repose le plus près possible sur le rebord du *support*, tandis que l'extrémité opposée de l'outil est tenue à la main (droite). On actionne la pédale de telle sorte que la matière à travailler, vue par-dessus, *vienne* vers l'*outil*, comme l'indiquent les flèches.

Le tour de menuisier, reposant sur les mêmes principes, nous nous abstenons d'en donner une description particulière.

Le travail d'un objet *entre pointes*, comme il vient d'être dit, n'est pas toujours possible, notamment dans le cas où cet objet est



très court, ou trop mince, ou lorsqu'on veut le creuser ou le forer en *about*; il faut alors le fixer par une des extrémités, sur le plateau même, par divers artifices; un des plus commodes est celui du *mandrin américain* (fig. 114, *b*); cet appareil se compose de deux disques en acier  $D_1$  et  $D_2$ , ce dernier est *moleté*, c'est-à-dire que son bord a été rendu grenu, et il est entaillé, sur sa joue interne, d'une rainure spirale jouant le rôle d'une vis plate (fig. 114, *d*); le disque  $D_1$  est creusé de trois ou quatre voies radiales dans lesquelles coulisent un nombre égal de mors mobiles; chacun de ceux-ci est à échelons, de façon à pouvoir saisir et fixer au besoin un cylindre creux, et porte sur sa face inférieure (fig. 114, *c*) des cannelures courbes en concordance avec les sillons de la rainure spirale de la plaque  $D_2$ ; il en résulte que, lorsqu'on fait tourner celle-ci dans un sens ou dans l'autre, les mors s'éloignent ou se rapprochent de l'axe et, par conséquent, peuvent serrer ou desserrer l'objet. L'emploi de ce mandrin est encore très commode lorsqu'on veut travailler un objet dont une extrémité a déjà été amenée à une parfaite cylindricité, ou bien lorsqu'on veut, en vue d'une opération de forage, fixer une mèche ou un foret sur le tour: l'objet, le foret, etc., se trouve *centré* immédiatement sans tâtonnement.

**Tour parallèle.** — Le tour parallèle, ou tour à *chariot*, est celui dans lequel l'outil, n'étant plus tenu à la main, est entraîné automatiquement par le mécanisme; cet appareil perfectionné rentre donc dans la catégorie des *machines-outils* et nous en renvoyons la description plus loin.

## Outils actifs ou outils proprement dits.

### 1<sup>o</sup> OUTILS SIMPLES

**Burin et Ciseau. Bédane.** — Le burin (fig. 115, *a*) est l'outil primordial de tout travail d'arrachement ou de perforation, car on le retrouve comme principe essentiel de tous les autres; il se compose d'une lame épaisse en acier, taillée en double biseau un peu arqué afin de faciliter le dégagement de l'outil lorsqu'il a pénétré dans la matière.

Son mode d'action peut être ramené à celui d'un *coin* (fig. 115, *b*)

lequel est doué d'une grande force de pénétration lorsqu'on vient à faire agir sur sa tête une force de percussion  $P$  ; la théorie mécanique indique que chacune des deux *poussées latérales*  $R$  et  $R'$  est égale à la percussion  $P$  amplifiée dans le rapport du côté  $AB$  du coin à sa tête  $BC$ , donc :

$$R \text{ ou } R' = P \times \frac{AB}{BC}$$

C'est sous l'empire de cette double poussée latérale que le coin produit l'*écartement* des deux bords de la fente, mais il faut auparavant que celle-ci ait été amorcée, c'est-à-dire que le coin ait pu *pénétrer* dans la matière ; ce résultat préalable est rendu possible par la condition que cette pointe soit constituée par une matière plus dure que celle de l'objet même ; car sous l'action de la contrainte  $P$ , il y a, dans le voisinage de la pointe  $A$  du coin, conflit violent entre les deux *forces de cohésion* en présence, celle de l'outil et celle de l'objet : c'est la plus faible qui est vaincue, ce qui amène la désagrégation de la matière correspondante et sa pénétration par l'autre matière plus dure ; il suffit alors d'exercer sur la tête  $BC$  une action qui n'a pas besoin d'être très considérable si le coin est très aigu ; en effet, cette arête, qui ne peut être une ligne mathématique, a une certaine largeur, mettons par exemple un cinquantième de millimètre si elle est bien affilée, et représente par conséquent une bande rectangulaire qui a, par centimètre de longueur, une surface de  $\frac{1}{500}$  de centimètre carré ; si donc la tête est seulement chargée

d'un poids de 10 kilogrammes, cela correspondra sur le tranchant, à une pression de 5000 kilogrammes par centimètre carré de surface et, la cohésion du support sous-jacent étant détruite, le coin s'enfonce et écarte les parois qu'il vient d'amorcer. C'est par le même mécanisme qu'un couteau coupe, qu'une aiguille ou un poin-

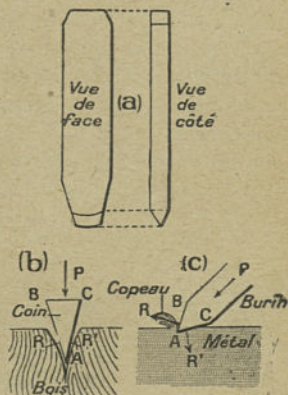


Fig. 415. — Outils actifs.

(a) burin ; (b) coin ; (c) mode d'action du burin.



con perfore, etc. ; un grattoir, un râcloir, produisent leurs effets d'une manière analogue.

Ceci posé, appliquons sur le métal l'arête A du burin en dirigeant celui-ci un peu obliquement (fig. 115, c), il va se produire la pénétration et le refoulement latéral qui viennent d'être expliqués, mais il est facile de se rendre compte que les effets obtenus seront très différents au-dessus et au-dessous du burin ; en effet, *au-dessous*, le métal est bien l'objet d'une compression  $R'$ , mais celle-ci est supportée et annihilée en quelque sorte par toute la masse matérielle de l'objet ; au contraire, au-dessus du burin, la force de refoulement  $R$  ne rencontre que la faible résistance que peut offrir l'épaisseur très petite du métal et celui-ci est alors expulsé sous forme d'un copeau.

Le *bédane* de mécanicien est une variante du burin dans laquelle le biseau, au lieu d'être sur le *plat*, est pratiqué sur le *champ* ou la *tranche* (fig. 116, a). Cet outil,



Fig. 116.

(a) bédane de mécanicien ; (b) « saignée » d'une pièce brute à dégrossir

plus résistant que le burin, sert à commencer le travail de dégrossissage des pièces brutes de forge ; soit, par exemple, à *dresser*, c'est-à-dire à rendre plane une certaine surface (fig. 116, b) ; on commence par l'entamer

avec le bédane suivant un système de sillons de directions perpendiculaires (c'est ce que l'on appelle, en terme de métier, pratiquer des saignées) ; la surface est alors découpée en un certain nombre de petites éminences carrées que l'on enlève au moyen du burin. Les aspérités qui subsistent sont éliminées au moyen de la lime, en croisant les traits ; on termine, au besoin par un polissage.

Pour travailler le bois, le menuisier emploie des outils analogues, mais à un *seul biseau*, parce que la matière en œuvre,



étant fibreuse, possède une direction privilégiée de moindre résistance ou *fil*. Le ciseau de menuisier est donc un outil plat, à un biseau (fig. 117, a) ; l'arête tranchante se trouve sur le plat, ou *planche*, ou encore *table* de la lame ; celle-ci est composée d'une lame d'acier soudée à une autre en fer, l'acier étant du côté de la planche ; le tranchant du biseau ne doit pas excéder 30 à 35 degrés (fig. 117, b). La lame se prolonge par une partie amincie appelée *collet*, à laquelle succède un élargissement ou *embase*, et enfin une pointe, ou *soie*, qui sert à fixer l'instrument dans un *manche* en bois.

Le *bédane* de menuisier a une épaisseur considérable ; au-

trement dit, le biseau est pratiqué sur la tranche et non sur le plat. Cet outil, très robuste, n'a pas de collet et sert spécialement pour creuser des rainures et des mortaises (fig. 117, c).

Enfin la *gouge* (fig. 117, d) est une sorte de bédane dont la tranche est creusée en gouttière : elle sert à obtenir des cavités courbes.

Comme le marteau en fer détériorerait le manche des outils, on frappe sur ceux-ci au moyen d'une masse en bois appelée *maillet* (fig. 117, e). Le mode d'emploi du ciseau et du bédane est évident ; conformément aux explications théoriques précédentes, on lui donne la position (fig. 69, a).

Lorsque ces outils doivent être employés à un travail sur le tour, on ne leur donne généralement qu'un seul biseau, car le tour n'est jamais mis en rotation que dans un seul sens. Pour faciliter la manœuvre, l'extrémité opérante, biseautée à un angle convenable, est recourbée et garnie d'aspérités à la partie inférieure, celle qui repose sur le support d'outil ; la

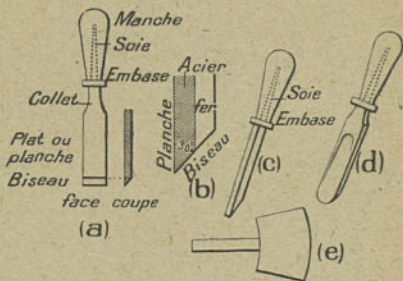


Fig. 117. — Outils de menuisier.

(a) ciseau ; (b) biseau du ciseau ; (c) bédane ;  
(d) gouge ; (e) maillet.

queue, ou *soie*, est introduite dans un manche en bois; le biseau tranchant doit entamer la matière *un peu au-dessus* de l'axe pour éviter des ressautements dangereux et le bris des outils.

Lorsque ceux-ci sont fixés sur un chariot mobile, on ne les pourvoit ni d'une soie, ni, bien entendu, d'un manche.

Le dégrossissage devant toujours s'opérer en enlevant très peu de matière à la fois, on commence le travail avec un outil arrondi à son extrémité, donc avec le *crochet-gouge*; on termine par la *plane*, à extrémité rectiligne, pour unir et régulariser; un autre outil, très usité pour couper, est celui qui est disposé en pointe. Le point d'appui de l'outil doit être très près du biseau et celui-ci presque tangent à la surface travaillée.

Tandis que le dressage — ou aplanissement — s'effectue finalement à la lime pour les métaux, il ne saurait en être ainsi

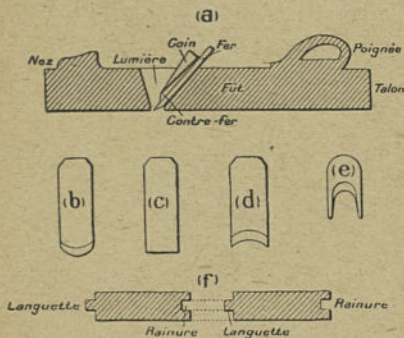


Fig. 118.

- (a) varlope; (b), (c) et (d) diverses formes du fer pour varlopes, riflards et rabots; (e) coin de pression; (f) rainure et languette obtenues avec le bouvet.

en menuiserie : on égalise la surface du bois au moyen d'un ciseau fixé dans un parallélépipède allongé appelé *fût* (fig. 118, a); ce ciseau, appelé ici *fer*, est placé obliquement dans un orifice nommé *lumière*; on surmonte l'outil d'une lame, dite *contre-fer*, qui a pour rôle de relever brusquement le copeau aussitôt celui-ci formé, de faciliter son expulsion et le mouve-



enfin *rabot* lorsqu'il est de petites dimensions et dépourvu de poignée. Le biseau du fer est courbe convexe dans le riflard (fig. *b*), ce qui permet d'enlever des copeaux épais et peu larges, aussi cet outil sert-il à *dégrossir*; on termine le dressage par la varlope dont le biseau droit et large permet d'enlever de minces copeaux bien formés (fig. *c*); le rabot sert pour travailler de petites surfaces, son fer peut être droit, convexe ou concave (fig. *d*) pour la confection des moulures; le *guillaume*, à fût très étroit, sert à creuser et à aviver les angles; les différents *bouvets* sont disposés de façon à fabriquer les *rainures*, ainsi que les *languettes* (fig. 118, *f*) qui, pénétrant dans les premières, permettent d'obtenir des assemblages de parquets, etc.

Tous les outils précédents, ou *outils à fût*, prennent encore le nom d'outils à corroyer, c'est-à-dire à dresser les faces planes, ou à produire les parties courbes, concaves ou convexes.

**Outils pour couper.** — On coupe les métaux à chaud avec la *tranche* et le *tranchet* (voir *forgeage*) et, à froid, avec des ciseaux très robustes assemblés par paires et appelés *cisailles*. Le mode de fonctionnement de ces outils dérive de ce qui a été expliqué antérieurement à propos du *cisaillement* (chapitre III, § 1 et fig. 68, *c*) et du coin pénétrant (fig. 115, *b*).

L'outil le plus général pour séparer deux parties d'un corps est la *scie*, décrite plus loin.

**Outils pour percer.** — Ces outils portent le nom de *mèches* ou *forets* et sont représentés figure 119 : *a*, *b*, *c* pour les métaux, *e*, *f*, *g* pour le bois. Ils se composent tous d'une tige dont l'extrémité est façonnée en arêtes coupantes ou à angles vifs : *a* est dit foret à *languette d'aspic*, son extrémité aplatie est terminée par deux biseaux obliques tournés en sens inverse ; *b* est un foret à *téton*, cette petite pointe sert pour le centrage et sépare les deux biseaux droits de sens contraires ; *c* est un foret *hélicoïdal*, encore appelé *mèche américaine*, et dont l'extrémité conique porte deux tranchants visibles sur la figure *d* ; ce foret, grâce à sa forme, perce des trous bien droits, parce que l'outil est constamment guidé dans son avancement par la partie cylindrique déjà creusée. Le foret *e* est la mèche à trois pointes A, B, D, la pointe D servant au centrage, le biseau CB



découpe un copeau; *f* est la mèche à *cuiller* et rappelle la forme d'une gouge; *g* est une mèche genre *américaine* avec une petite pointe conique filetée *A*, dite *tire-fond*, et servant au centrage; *h* est la simple *vrille* connue de tous et dont la forme dérive des précédentes.

Tous ces outils s'emploient en les faisant tourner sur eux-mêmes tandis qu'on appuie fortement sur leur tête. Dans tous

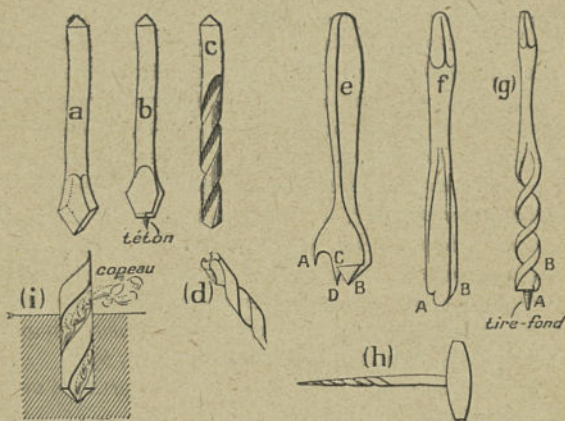


Fig. 119. — Divers outils pour percer.

- (a) foret à « langue d'aspic »; (b) foret à téton; (c) (d) foret hélicoïdal ou mèche américaine; (i) expulsion du copeau métallique :  
(e) (f) (g) (h) outils pour le bois.

on remarque la présence d'un biseau terminal dont le rôle est d'entamer la matière, comme le ferait un burin ou un ciseau; les outils à percer sont donc, à proprement parler, des *ciseaux tournants* et ils doivent être disposés de façon à loger ou à éliminer le copeau qu'ils forment<sup>1</sup>; on arrive à ce résultat en les aplatissant (*a*, *b*, *e*) ou en ménageant des cavités convenables; cuiller (*f*), rainures hélicoïdales (*c*, *g*); la figure 119, *i* donne une idée de l'échappement du copeau avec la mèche

1. Sans quoi il y aurait grippement, échauffement et rupture du foret.

américaine. Pour bien définir l'axe du trou et guider les premiers mouvements du foret, on commence par frapper un coup de pointe à l'endroit exact.

Dans la simple vrille, la rotation s'effectue à la main, mais ce procédé serait impraticable, dans la plupart des cas, lorsque l'on veut forer un trou de quelque importance et bien régulier; on engage alors la tige de l'outil dans un appareil rotatif tel

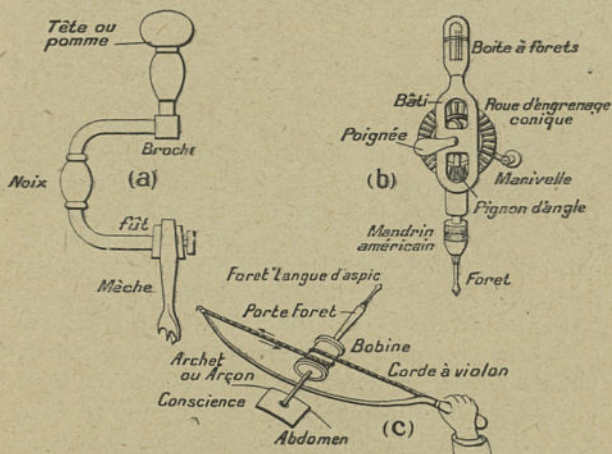


Fig. 120. — Organes d'entraînement pour outils à percer.  
(a) vilebrequin; (b) foreuse à manivelle; (c) arçon ou archet.

que le *vilebrequin* (fig. 120, a) qui sert plus spécialement en menuiserie; pour percer des trous fins dans les métaux, on obtient de meilleurs résultats au moyen de la foreuse à manivelle (fig. 120, b), dans laquelle le foret est mis en rotation rapide par suite de la multiplication de vitesse que produit l'engrènement de la roue-manivelle avec le petit pignon d'axe; la figure fait suffisamment comprendre le fonctionnement. On peut encore employer le dispositif connu sous le nom d'*arçon* ou *archet* (fig. 120, c); le foret est mis en mouvement par une bobine qui tourne rapidement sur elle-même, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, par le déplacement d'une corde à

violon qui l'entoure ; cette corde est fixée après une sorte d'archet ; le foret étant appliqué dans l'amorce du trou à faire, l'autre extrémité de l'axe est maintenue par une plaque de tôle appelée *conscience* que l'artisan appuie sur son abdomen. Comme le mouvement de cet outil est *alternatif*, il faut employer un foret qui puisse travailler dans les deux sens, donc un foret *langue d'aspic*.

Il existe d'autres dispositifs, le *drille*, le *fût à rochet*, etc., dont la description ne peut trouver place ici.

Les *alésoirs* et les *équarrissoirs* sont des outils destinés à agrandir un trou ou à le régulariser s'il n'est pas bien cylindrique. Les équarrissoirs sont des tiges en forme de pyramides allongées, à section polygonale ; en tournant dans un trou, leurs arêtes entament les parois et agrandissent l'orifice ; mais celui-ci devient légèrement conique. Les alésoirs, au contraire, sont parfaitement cylindriques et portent un certain nombre de génératrices tranchantes. Pour les cylindres de grand diamètre, on fixe sur un arbre une lame à bords acérés et de la largeur à atteindre ; en la faisant tourner à l'intérieur du cylindre déjà dégrossi, celui-ci arrive à la cylindricité et au diamètre désirés.

**Outils à fileter et à tarauder.** — Fileter un cylindre plein, tarauder un cylindre creux, c'est tracer sur chacune de ces surfaces un sillon régulier qui tourne tout autour de l'axe tout en avançant uniformément parallèlement à cet axe ; autrement dit, ce sillon suit une courbe connue sous le nom d'*hélice* et qu'on peut engendrer en enroulant sur la base d'un cylindre, pris comme *noyau*, l'un des côtés de l'angle droit d'un triangle rectangle, tandis que l'autre côté est dirigé parallèlement à l'axe ; dans ces conditions, l'hypoténuse, en se mouvant sur le cylindre, trace sur celui-ci l'*hélice*, courbe-mère de la vis (fig. 121). Chaque fois que la courbe a fait un tour complet, on dit qu'elle a formé une *spire* ; on appelle *pas* de l'hélice (et de la vis) la distance constante telle que HK qui est interceptée, sur une génératrice quelconque, par deux spires consécutives. La propriété fondamentale de l'hélice est celle-ci : pour un tour complet autour de l'axe, on avance, parallèlement à cet axe, d'une quantité constante égale au pas ; pour une fraction seule-



ment de tour, on n'avance que de la même fraction du pas. Ceci établi, supposons qu'on découpe un carré ou un triangle tel que ABC (fig. 121) et que, le disposant toujours radialement, c'est-à-dire dans le prolongement d'un rayon du noyau, on le déplace en assujettissant un des sommets, C par exemple, à suivre constamment l'hélice, ce triangle ou ce carré engendreront dans l'espace, tout autour du cylindre, un bourrelet hélicoïdal appelé *filet de vis*, triangulaire ou carré, selon le cas. Supposons maintenant que le triangle ou le carré se déplacent à l'intérieur d'un cylindre creux en y entamant la matière, ils creuseront un sillon hélicoïdal

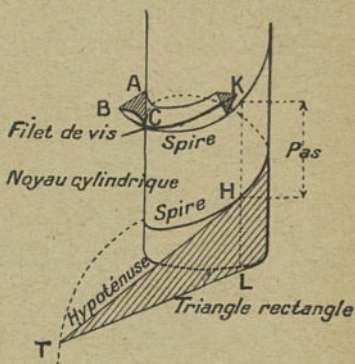


Fig. 121. — Génération de l'hélice, courbe-mère de la vis.

qui prendra le nom de *filet d'écrou* ou simplement *écrou*. L'écrou est en quelque sorte comme le moule ou la contre-partie de la vis : les deux formes glissent l'une contre l'autre en tournant et en avançant, en se superposant toujours exactement.

Pour creuser sur un cylindre un *filet de vis* ou d'écrou, il suffit, d'après ce qui précède, de disposer des deux choses suivantes : 1° un burin à biseau en forme de V ; 2° un dispositif d'entraînement hélicoïdal du burin : il sera commode de disposer le cylindre entre pointes sur un tour, ce qui fournira le mouvement circulaire et de déplacer l'outil, parallèlement à l'axe, d'un mouvement uniforme : il tracera un sillon hélicoïdal sur le noyau ; c'est ce procédé qui est usité pour le tracé des grandes vis au moyen du *tour parallèle* à fileter et à charioter (voir plus loin, aux *Machines-outils*). Pour les vis et les écrous de faibles dimensions, on se contente généralement des moyens suivants. Prenons d'abord le cas où la matière en œuvre est le *bois* ; il faut deux outils toujours assortis l'un à l'autre, la

*filière* pour faire la vis en relief et le *taraud* pour le creux.

A) *Filière*. — Le biseau en forme de V dont il a été question tout à l'heure est visible en F sur la figure 122, a, on l'appelle le *fer* ; sa double arête tranchante vient dépasser un peu le bord d'un trou cylindrique dans lequel on a pratiqué un pas de vis exactement le même que celui qu'il s'agit de faire et qui servira de guide ; une lumière L ménagée sur le côté permettra

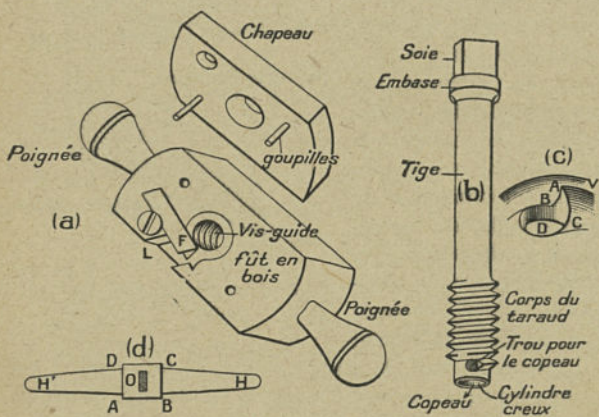


Fig. 122. — Outils pour fileter le bois.

(b) filière, vue intérieure, le chapeau enlevé ; (b) taraud ; (c) dent pénétrante du taraud ; (d) tourne-à-gauche.

la sortie du copeau ; le chapeau étant assemblé au corps de la filière ou *fût*, il suffit d'engager dans le trou de ce fût une tige cylindrique en bois, de même diamètre et de la faire tourner sur elle-même ou inversement, de maintenir la tige fixe et d'imprimer un mouvement de rotation à la filière : le fer en V creuse le sillon hélicoïdal.

B) *Tarauds*. — Cet outil est représenté (fig. 122, b) ; c'est un cylindre en acier portant à son extrémité, ou *corps*, une dent représentée à plus grande échelle en C. Cette dent joue exactement, dans le taraud, le même rôle que le fer en V de la filière ; un trou D est ménagé immédiatement à la base pour

l'expulsion du copeau ; celui-ci se rend alors dans l'intérieur du taraud, qui est creux. Pour guider le mouvement, la surface du taraud est travaillée suivant un filet de vis précisément semblable à celui qu'engendrera la dent en tournant. Pour creuser une vis dans un écrou, il suffira donc d'y enfoncer le taraud bien axialement et de faire tourner celui-ci sur lui-même ; ceci se fera commodément en engageant la *soie* (fig. b) dans

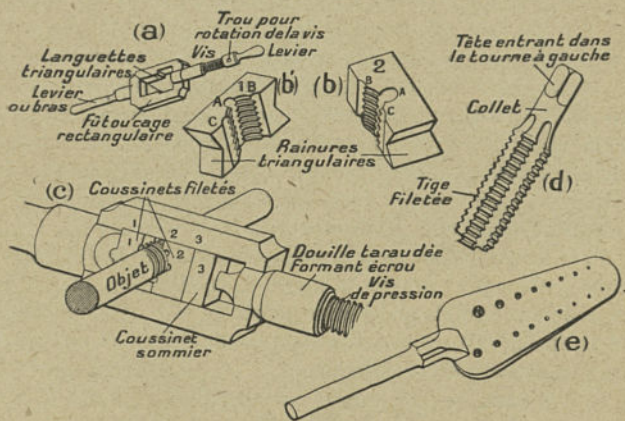


Fig. 123. — Outils pour fileter les métaux.  
 (a) fût de la filière ; (b) (b') coussinets de filière ; (c) vue d'ensemble ;  
 (d) taraud ; (e) filière à truëlle.

la cavité de même forme que présente le corps central d'une sorte de levier appelé *tourne-à-gauche* (fig. 122, d). Ce dernier instrument sert à manœuvrer les alésoirs.

Pour fileter les *métaux*, les outils sont analogues en principe, avec quelques modifications motivées par la plus grande dureté de la matière travaillée.

A) *Filière*. — Le fût est un cadre rectangulaire en fer dans lequel on peut introduire et faire glisser deux pièces en acier dur appelées *coussinets* de filière (fig. 125, a) ; ces derniers sont au nombre de deux (fig. b et b'), les faces cylindriques concaves en regard sont creusées d'une rainure hélicoïdale



abattue par des chanfreins dirigés dans le sens de l'axe, ce qui produit une denture coupante : c'est cette dernière qui jouera le rôle actif en pénétrant dans le cylindre — objet à travailler et y traçant le sillon du pas de vis ; des trous et des évase-ments convenables A, B, C (fig. *b* et *b'*) sont ménagés pour l'expulsion du copeau. Ces coussinets sont creusés latéralement chacun de deux rainures triangulaires qui pourront glisser sur deux languettes de même forme taillées sur les bords internes du fût (fig. *a*). On assemble le cylindre-objet à fileter et les coussinets comme l'indique la figure *c* ; des numéros de référence servent d'indication au montage, un troisième coussinet dit *sommier* est intercalé entre le deuxième coussinet et la tête de la vis et répartit la pression de celle-ci. On procède par plusieurs passes successives, en huilant et en rapprochant les coussinets, par pression de la vis, au fur et à mesure que la denture pénètre plus profondément.

Pour les petites vis sans grande précision, on se sert parfois d'un système plus simple, la filière à *truelle* (fig. 123, *e*) qui consiste en une plaque d'acier percée de 16 à 20 trous filetés et chanfreinés en arêtes coupantes ; les diamètres de ces orifices vont en décroissant régulièrement.

B) **Tarauds.** — Le taraud pour métaux (fig. 123, *d*) n'est pas autre chose qu'une vis en acier dur dont on a abattu les filets suivant quatre rainures longitudinales, de façon à faire apparaître les dentelures tranchantes destinées à pénétrer dans la matière de l'écrou et à y creuser les sillons de la vis creuse. La tête de l'outil peut s'engager dans la mortaise d'un tourne-à-gauche. Il faut opérer doucement, progressivement, huiler et commencer par un taraud légèrement conique pour finir par un autre parfaitement cylindrique.

**Peignes.** — Comme le nom l'indique, les peignes sont des outils de tour dont le biseau est dentelé régulièrement (fig. 124, *a*) ; celui-ci, étant appuyé fixement sur un cylindre en rotation, y creuserait une série de sillons circulaires parallèles ; mais si, en même temps que la pièce tourne, l'outil subit un mouvement de déplacement *uniforme* vers la droite, les sillons se transformeront en filets hélicoïdaux et l'on aura une

*vis*; avec beaucoup d'habileté, on peut arriver à *fileter à la volée*, c'est-à-dire à la main, la difficulté est d'entraîner l'outil d'un mouvement bien régulier; cette opération est rendue beaucoup plus facile quand on peut disposer d'un *tour à fileter*, le peigne étant alors entraîné automatiquement par le chariot mobile (Voir *Machines-outils*).

Pour faire l'écrou, par le même système, on emploie un peigne dit de *côté* (fig. 124, *b*), que l'on introduit, parallèlement à l'axe, dans l'intérieur du cylindre. Les peignes peuvent s'employer pour toute matière peu résistante telle que le bois et même le bronze et le laiton, mais ils ne suffisent plus quand il s'agit du fer ou de ses dérivés. On peut alors employer, comme on l'a déjà indiqué, la filière et le taraud; ou bien on

se sert du tour à fileter en prenant un bédane pour les filets carrés et un pointement biseauté, dit *grain d'orge*, pour les filets triangulaires.

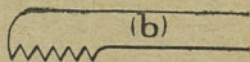
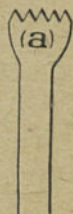


Fig. 124. — Peignes à fileter.  
(a) pour la vis; (b) pour l'écrou.

## 2° OUTILS COMPOSÉS

**DÉFINITION.** — Nous appelons ainsi les outils qui peuvent être considérés comme formés par la réunion d'un nombre plus ou moins grand d'outils simples, c'est-à-dire de biseaux ou de pointes; ce sont : les *limes*, les *fraises*, les *toupies* et les *scies*. On pourrait aussi faire rentrer dans cette catégorie quelques-uns des outils précédemment étudiés, comme les alésoirs, les tarauds et les filières pour métaux.

**Limes.** — Pour fabriquer une lime, on frappe, suivant des lignes parallèles, des coups de burin sur une lame assez épaisse d'acier fondu non trempé (fig. 125, *a*); ensuite, on trempe et on recuit au degré voulu. On a provoqué ainsi la formation d'une série de crêtes parallèles dont chacune pourra agir à la façon d'un grattoir ou d'un burin. La taille est *simple* (fig. *b*),



c'est-à-dire dans une seule direction, pour le cuivre et ses dérivés, le bronze et le laiton. Pour les métaux plus durs, comme ceux de la famille du fer, on applique le principe déjà indiqué à propos du tournage, de faire enlever à chaque coup,

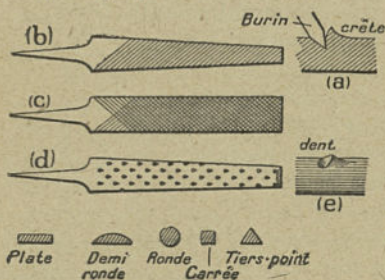


Fig. 125. — Limes diverses.

(a) entaillage des sillons ; (b) taille simple ;  
(c) taille croisée ; (d) râpe.

par un outil, d'autant moins de matière que celle-ci est plus dure ; on remplacera donc les crêtes par des points, ce qui s'obtiendra simplement, dans la fabrication, en effectuant sur la lime une *taille croisée* (fig. c). Le bois

donnant lieu à une issue ou *sciure* de grand volume, celle-ci comblerait les sillons d'une

lime ordinaire ; on emploie alors une râpe (fig. d) dont la surface est hérissée de dents espacées (fig. e) obtenues en frappant le métal avec une pointe.

On peut classer les limes, non seulement d'après la nature de leur taille, mais encore selon la forme de leur section (fig. 125).

**Fraises et toupies.** — Tandis que, dans le travail au tour, la pièce est animée d'un mouvement de rotation rapide, pendant que l'outil est fixe, on peut imaginer le cas inverse où, la pièce étant maintenue fixe, par suite de sa masse, de sa forme, ou de toute autre nécessité, l'outil, au contraire, tourne sur lui-même avec une très grande rapidité ; mais alors, pour accélérer le travail, on dispose un certain nombre d'outils semblables les uns à la suite des autres, circulairement ; on obtient ainsi un outil composé qu'à cause de sa forme globulaire et les aspérités qui le hérissent, on nomme techniquement une *fraise* (fig. 126 et 127).

Ces organes travaillent évidemment à la façon d'un *burin tournant* : ils doivent avoir un angle de coupe et une vitesse en



rapport avec la matière à entamer ; le dégagement des copeaux ou de la limaille est assuré par une largeur suffisante laissée aux intervalles qui séparent les divers tranchants. Pour éviter l'échauffement intempestif de l'acier, on arrose *abondamment* la fraise en travail avec de l'eau de savon ou de l'huile (acier fondu) : on emploie aussi la benzine pour le bronze, lequel d'ailleurs peut se travailler à sec si l'opération dure peu de temps.

La figure 126 représente quelques types de fraises pour métaux : (a) cylindrique à denture droite ; (b) cylindrique à denture hélicoïdale préférable à la précédente parce qu'elle attaque la matière obliquement, donc progressivement et sans choc ; (c) fraise pour tailler les engrenages dans un disque métallique ; (d) fraise conique destinée à creuser des logements de même forme pour têtes de vis arasées, etc.

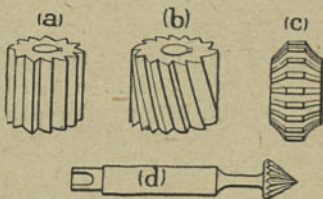


Fig. 126. — Fraises diverses.

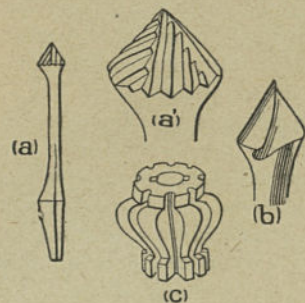


Fig. 127. — Fraises pour le bois.

(a), (a'), (b), à tête conique ; (c) fraise « de forme ».

fraise, des entailles à angle de coupe convenable, de façon à constituer la série des tranchants successifs régulièrement espacés.

destinée à creuser des logements de même forme pour têtes de vis arasées, etc.

Pour fabriquer une fraise, on commence par façonner au tour un morceau d'acier de bonne qualité, suivant le profil à obtenir ; on le trempe puis le recuit en le laissant revenir au jaune foncé ; on rectifie ensuite les légères déformations apportées par la trempe ; puis on *affûte*, c'est-à-dire qu'on creuse, au moyen de la meule d'émeri ou même d'une

Les figures 127, *a*, *b* représentent des fraises coniques pour le bois : *a'* est une représentation plus agrandie de la tête de *a*. Ces outils servent au menuisier à creuser régulièrement le trou conique dans lequel se loge la tête d'une vis afin que celle-ci ne dépasse pas la surface de la pièce. Les fraises de *forme* pour le bois, c'est-à-dire celles qui servent spécialement à obtenir des moulures, portent le nom de *toupies* quand elles sont à axe vertical (fig. 127, *c*) ; elles peuvent même se réduire à une simple lame profilée.

Les fraises et les toupies constituent des outils extrêmement intéressants par la propreté, la rapidité, la facilité et la précision du travail qu'ils permettent d'obtenir ; il y a eu, de ce chef, une véritable révolution dans les procédés employés dans de nombreux corps de métiers.

**Scies.** — L'organe essentiel d'une scie est, comme l'on sait, une mince lame métallique garnie de dents ; chacune de celles-ci fonctionne absolument comme un bédane très étroit et l'ensemble comme une série de bédanes alignés les uns derrière les autres. Chacun de ces biseaux entame la matière et produit un copeau, ou sciure, qui se loge entre deux dents successives et tombe à la fin de la course. Si la lame était aussi épaisse que la largeur de la fente produite, il en résulterait un frottement considérable, un fort échauffement et bientôt un arrêt forcé de la lame, malgré les lubrifiants que l'on aurait eu soin d'appliquer ; il découle de là la nécessité absolue de *donner de la voie* à la lame, de lui ménager un espace libre suffisant sans exagération. On donne de la voie en tordant légèrement et alternativement les dents à droite et à gauche du plan de la lame, toutes d'une même quantité afin d'avoir deux alignements bien droits et bien parallèles.

Les figures 128, *a*, *b*, *c*, *d* représentent quelques types importants de dentures : (*a*) denture isocèle, l'inclinaison des deux arêtes d'une dent par rapport à la longueur de la lame est la même ; cette scie, utilisée par les *scieurs de long*, fonctionne dans les deux sens ; (*b*) denture non isocèle, utilisée en menuiserie n'admet qu'un seul sens de travail, celui indiqué par la flèche ; (*c*) et (*d*) dentures pour scies mécaniques, la der-

nière pour scie circulaire (encore un seul sens de coupe), pouvant être considérée comme une *fraise cylindrique* de largeur très réduite.

La lame droite est maintenue et dirigée par un assemblage de diverses pièces représentées et dénommées dans les figures 128, *e*, *f*, *g*. La scie à *chantourner* sert à fendre une planche suivant un contour courbe déterminé, la lame

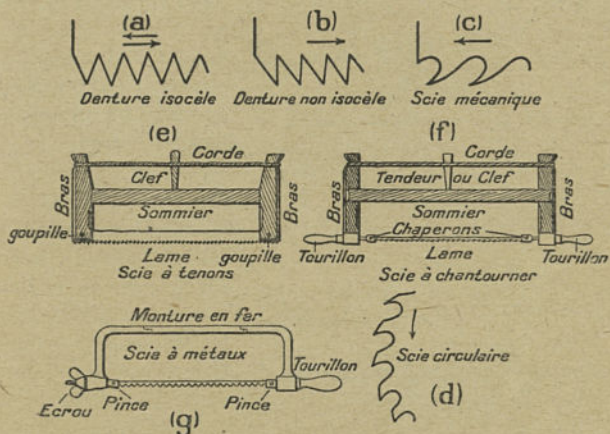


Fig. 128. — Scies diverses.

(a) (b) (c) (d) types de denture; (e) (f) scies à bois; (g) scie à métaux.

a donc une faible hauteur et peut pivoter autour de deux tourillons.

La scie dite *allemande* présente une disposition analogue, mais la lame est plus haute.

La lame d'une scie à métaux (fig. *g*) est en acier dur et à dents fines; elle est fortement tendue au moyen d'un écrou et reçoit un lubrifiant avant usage.

**Outils et instruments à affûter.** — Lorsque les dents d'une scie ont perdu leur tranchant par suite d'usage prolongé, on les ravive en passant le tiers point sur leurs arêtes; on facilite l'opération en pinçant la lame dans une large mâchoire



en bois ; on donne ensuite la *voie* nécessaire avec une pince spéciale.

Les burins, bédanes, ciseaux et autres outils s'aiguisent à la

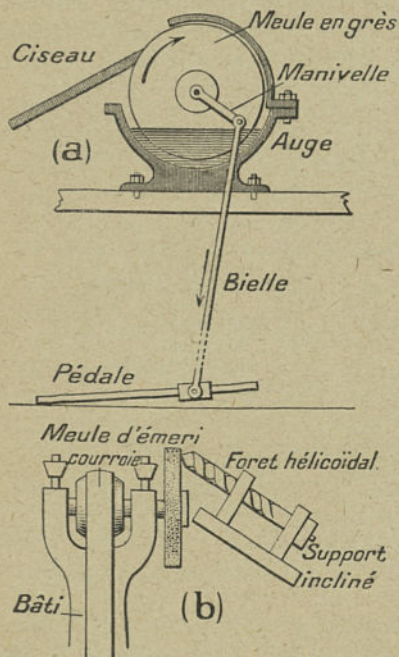


Fig. 129. — Instruments d'affûtage.

(a) meule de grès mue au pied ; (b) meulage à l'émeri.

meule de grès humectée d'eau et mise en rotation au moyen d'une manivelle à pédale (fig. 129, a). Après ce travail, il reste toujours sur le tranchant de l'outil une bandelette extrêmement mince et très flexible de métal qu'on appelle le *morfil* et qui s'opposerait au pouvoir de pénétration du biseau ; on enlève ce morfil en faisant glisser l'arête sur du carton ou une planchette plate et on termine en appuyant le biseau sur une pierre dure et abrasive, à grain fin appelée, selon la provenance, *Arkansas* (province des Etats-Unis), pierre du *Levant*, ou enfin *Pierre à l'huile* parce que, par opposition avec le grès qu'on humecte d'eau la pierre à mor-

filer s'emploie avec un corps gras. On fait décrire au biseau des mouvements en zigzag jusqu'à la disparition complète du morfil.

On emploie très souvent pour l'affûtage des outils d'acier, dans les ateliers de mécanique, des meules faites avec une matière fort dure qu'on appelle l'*émeri*. La figure 129, b repré-

sente le schéma du montage employé pour l'affûtage d'un foret hélicoïdal. Avec l'émeri on opère à sec ; il faut bien se garder de mettre un corps gras quelconque qui arriverait à boucher les cavités de cette matière très poreuse et annihilerait son mordant.

L'émeri s'emploie encore en poudre plus ou moins fine (distinguée par des numéros) que l'on étale et fixe sur du papier ou de la toile au moyen de matières adhésives. La poudre de verre peut jouer le même rôle mais avec moins de mordant. Citons encore, dans le même ordre d'idées, le *carborundum* (combinaison de carbone et de silicium obtenue au four électrique), le *colcothar* ou *rouge d'Angleterre* (sesquioxyde de fer), le sesquioxyde de chrome, etc.

Le *polissage* des pièces s'effectue au moyen de sortes de meules en bois, en buffle, ou même en *toile* ; ces dernières sont simplement constituées par un certain nombre de disques de peau ou de toile de même diamètre et centrées sur l'axe ; celui-ci, par sa rotation rapide, entraîne les disques et l'action centrifuge est telle que l'ensemble prend la rigidité d'un solide.

On emploie aussi, pour *dérocher*, des sortes de meules appelées *gratte-bosses* formées par un disque dont la périphérie est garnie de filaments métalliques.

## Machines-outils.

**Tour parallèle.** — Les machines-outils sont des dispositifs plus ou moins complexes dans lesquels le mouvement relatif de l'outil et de la pièce travaillée est obtenu sans l'intervention directe de l'artisan, sauf au début, pour la mise en place. La plus importante de toutes les machines-outils est certainement le *tour parallèle*, ou tour à charioter, dont nous avons déjà signalé l'existence antérieurement et dont nous allons maintenant donner le principe essentiel.

Un *tour*, analogue à celui qui a été déjà décrit, porte en outre, *parallèlement* au banc, une longue vis parfaitement

travaillée, dite *vis-mère*, qui passe dans un écrou solidaire d'une pièce mobile appelée pour cette raison *chariot* (fig. 130, a). Lorsque l'on met le tour en mouvement, soit à la pédale, soit plus généralement par un moteur, la vis-mère se met elle-même à tourner sous l'action d'une série de roues dentées telles que  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , etc., qui engrènent les unes avec les autres d'une manière déterminée et dont l'ensemble constitue

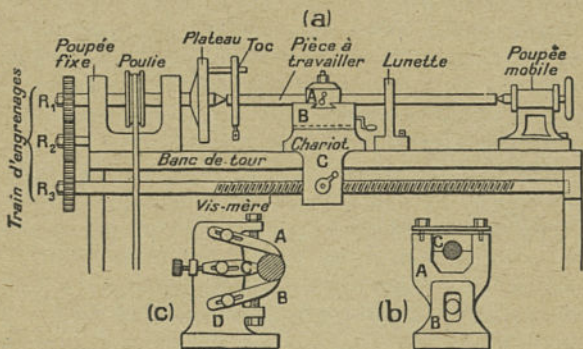


Fig. 130. — Tour parallèle.

(a) vue d'ensemble ; (b) lunette fixe ; (c) lunette à suivre.

ce que l'on appelle un *train d'engrenages*. Le mouvement de rotation de la vis-mère, mouvement qui peut s'effectuer dans un sens ou dans l'autre à la volonté de l'artisan, fait avancer ou reculer le chariot vers la droite ou vers la gauche ; on conçoit donc que, si ce chariot porte un outil de tour, on pourra travailler la pièce en œuvre sur toute sa longueur, ou en tel point déterminé. En particulier, la vis-mère et les roues dentées étant supposées *précises*, l'outil avancera uniformément et régulièrement et entamera la pièce cylindrique suivant un sillon hélicoïdal ; on pourra donc obtenir facilement, par ce moyen, des filets de vis parfaits ; pour cet emploi particulier, le *tour à charioter* prend le nom spécial de *tour à fileter*.

Pour produire des pas de vis variés, il faut pouvoir modifier à volonté le rapport qui existe entre la vitesse de rotation du



cylindre-objet et la vitesse du déplacement de l'outil, laquelle dépend de la vitesse de rotation de la vis-mère; pour obtenir ce résultat, il faut intercaler entre l'arbre du tour et celui de la vis-mère un système de roues dentées ayant chacune un nombre déterminé de dents; aussi, l'agencement général de chaque tour parallèle comporte-t-il la présence d'un nombre assez élevé de roues de divers diamètres servant à constituer tel *train* déterminé selon les besoins.

Le chariot se compose de deux parties :

A) La *cuirasse* qui glisse sur le banc du tour et porte l'écrou dans lequel tourne la vis-mère;

B) Le chariot proprement dit qui comprend lui-même deux pièces pouvant coulisser horizontalement l'une sur l'autre à angle droit, au moyen de vis de rappel; l'outil est fortement fixé à la pièce supérieure par le moyen d'une plaque de fer traversée par un boulon à écrou de serrage.

Le tour parallèle comprend encore un accessoire indispensable : la *lunette*, ainsi appelée parce qu'elle se compose d'une pièce verticale ajourée à sa partie supérieure. Dans ce vide on peut faire passer et soutenir les pièces un peu longues qui, bien que fixées à leurs extrémités par la pointe et la contre-pointe, pourraient, sous l'action de la rotation, et le broutement de l'outil, exécuter des vibrations dangereuses ou nuisibles; la lunette remédie à ces inconvénients en fournissant un point d'appui intermédiaire. On distingue deux sortes de lunettes (fig. 130, *b* et *c*) : la lunette *b* est dite *fixe* parce que, quoique pouvant glisser sur le banc, elle doit y être fixée au moyen d'un écrou en un point déterminé et ne plus en bouger pendant tout le travail; elle se compose de deux pièces A et B, cette dernière forme la base fixée sur le banc, tandis que la première peut s'élever ou s'abaisser, en glissant sur B, à la hauteur voulue : deux coussinets C sont insérés dans la fourche A.

La *lunette à suivre*, au contraire, se fixe sur le chariot et *suit*, par conséquent, tous les mouvements de l'outil (fig. C), ce qui est fort utile pour travailler du fil de fer assez fin et pour saisir la pièce à travailler très près de l'outil, afin d'éviter les fléchissements et les oscillations; ce modèle *c* se compose de

trois doigts en acier ABC pouvant glisser et enserrer un diamètre quelconque ; le tout est porté par une sorte de poupée D.

Lorsqu'une pièce est trop lourde ou trop encombrante pour pouvoir être placée entre les pointes, on la travaille au moyen d'un *tour dit en l'air*, lequel se compose d'une poupée fixe portant un plateau, l'un et l'autre de grandes dimensions ; sur ce plateau on peut fixer de grandes plaques de métal par exemple, au moyen de dispositifs spéciaux de serrage, *sans qu'il y ait besoin de contre-pointe*. Ou bien l'objet supposé très lourd, est placé sur une plate-forme « ad hoc » ; le porte-outil forme un système indépendant.

Le *tour à singer* sert à reproduire un profil déterminé à condition d'avoir fabriqué préalablement un *gabarit* dont le contour guide automatiquement l'outil.

Le *tour-revolver* possède un porte-outil rotatif (*revolver* vient d'un mot anglais signifiant *tourner*) sur lequel sont fixés les divers outils dont la fabrication de l'objet nécessite l'emploi ; la rotation du revolver, qui peut être automatique, permet un travail très rapide. Les outils peuvent encore être montés sur un chariot pivotant appelé *tourelle* : on a ainsi une machine dite à *décolleter*, qui permet de façonner automatiquement en série un grand nombre de pièces plus ou moins compliquées, comme en réclame la construction des automobiles et des cycles.

**Machines-outils diverses.** — Le même genre de travail correspond à des machines d'aspect et d'organisation un peu dissemblables pour le traitement du bois et pour celui des métaux à cause de la différence de dureté. La description de toutes les machines possibles constitue un sujet beaucoup trop vaste pour pouvoir être abordé ici ; il y aurait même impossibilité et inutilité d'entreprendre l'examen complet des différents modèles d'un genre particulier ; outre que ce sujet comporterait une technique trop spéciale, il demanderait plusieurs volumes à lui seul, vu l'extrême variété des types d'une même machine.

Mais dans cette apparente confusion, il existe certains caractères généraux de *composition* et de *fonctionnement*



communs à toutes les machines et qu'il est, par suite, très important de mettre en lumière.

A) **Composition.** — Toute machine-outil, quelle qu'elle soit, comprend nécessairement trois parties essentielles, abstraction faite du *moteur* humain, animal ou mécanique, dont nous n'avons pas à faire état ici, savoir :

L'*outil* qui effectue le travail requis et dont nous avons déjà passé en revue la description, la théorie et le fonctionnement ; nous n'y reviendrons pas ;

Le *mécanisme* qui a pour fonction de transmettre ou transporter l'effort du moteur jusqu'à l'outil qui l'utilise. Ce mécanisme est un ensemble plus ou moins complexe mais qui peut toujours, comme on le démontre dans les cours de mécanique, se ramener au *levier* et au *plan incliné* ou au *coin* ; ainsi la *poulie* et la *roue d'engrenage* dérivent du levier (ce sont comme des *leviers tournants*), la *vis* dérive du *plan incliné* (c'est un *plan incliné tournant*), etc. ;

Le *bâti* ou support de tout le système constitué par l'outil, la pièce en œuvre, et le mécanisme.

Il est facile d'apercevoir que cette anatomie de la machine s'applique au tour entre pointes et au tour parallèle.

B) **Fonctionnement.** — Laissons de côté celui de l'outil qui a été déjà étudié et celui du bâti qui n'a rien d'intéressant, pour nous occuper de celui du mécanisme ; celui-ci, quelque compliqué qu'il soit, pouvant être ramené, comme on l'a dit tout à l'heure, au levier ou à une combinaison de leviers, obéit aux principes généraux de la mécanique théorique et, en particulier, à la grande loi *du travail* et des *forces vives* que nous croyons nécessaire de rappeler brièvement.

**Travail.** — Une force ne produit d'effet utile que si elle entraîne le déplacement de son point d'application. Un manœuvre, par exemple, qui toute la journée porterait dans ses bras une grosse pierre, sans bouger, ni monter ni descendre, serait sans doute très fatigué le soir mais ne pourrait prétendre à une rémunération importante puisqu'il n'a fait que jouer le rôle d'un support passif, comme aurait pu le faire une poutre ; théoriquement, il n'a produit aucun travail utile parce que les



deux facteurs du travail mécanique sont simultanément la *force* et le *déplacement* et que, dans le cas qui nous occupe, le dernier de ces facteurs est inexistant, nul. Ces considérations permettent de se rendre compte pourquoi la théorie mécanique a conduit à définir le travail comme le produit des deux facteurs, force et déplacement, en évaluant expressément celui-ci dans la direction de la première.

**Force vive.** — On dit qu'un corps possède de l'*énergie* quand il peut produire du travail, au sens ci-dessus. Or, un corps en mouvement peut produire du travail ; ainsi par exemple, si nous supposons lancé fortement le *grand volant* régulateur d'un moteur nous pourrions interrompre l'arrivée de la vapeur, le système continuera à tourner et à travailler un certain temps jusqu'à ce que la vitesse acquise soit épuisée. Il résulte de là qu'une *masse en mouvement* possède de l'*énergie* sous une forme que l'on qualifie d'*énergie cinétique*, ou *énergie actuelle*, ou encore *force vive* (expression impropre et consacrée par l'usage). Le calcul montre que cette énergie de mouvement, ou force vive, s'exprime par le produit  $\frac{1}{2} MV^2$ , dans lequel M est la valeur de la masse en mouvement et V sa vitesse de déplacement linéaire.

Ceci posé, toute la mécanique est dominée de haut par la grande loi suivante, encore appelée *principe des forces vives* :

Étant donné un mécanisme en mouvement soumis à l'action de certaines forces, les unes motrices, les autres résistantes, la somme algébrique des travaux de toutes les forces, pendant un temps donné, est égale à l'accroissement de force vive du mécanisme pendant le même temps.

Dans cet énoncé figure l'expression *somme algébrique* des travaux de toutes les forces, ceci signifie tout simplement que les travaux des forces motrices (celles qui *aident* au mouvement) doivent s'ajouter entre eux, tandis que les travaux des forces résistantes (celles qui *gènent* le mouvement) doivent se retrancher de la première somme.

**Conservation du travail.** — Supposons maintenant une machine en mouvement *uniforme*, c'est-à-dire un mouvement dont la rapidité n'éprouve aucun changement, n'augmente ni ne diminue d'un instant à l'autre ; mathématiquement ceci revient à dire que la vitesse V de chaque partie du système demeure constante ; donc

la force vive  $\frac{1}{2} MV^2$  de chacune de ces parties est constante et il en est de même de la force vive totale de l'ensemble ; cette force vive totale ne changeant pas, sa *variation* est mathématiquement *nulle* et, d'après le principe dit des forces vives, la somme algébrique des travaux de toutes les forces est nulle aussi pendant un temps quelconque ; ce qui peut encore s'écrire :

Travail résistant = Travail moteur,

en valeur absolue. C'est en cette égalité que consiste le principe de la *conservation du travail* dans une machine en mouvement uniforme.

Autrement dit, on ne peut pas, avec un mécanisme quelconque, si ingénieux soit-il, augmenter ou diminuer une quantité quelconque de travail, recevoir à l'outil, par exemple, plus de travail que n'en aurait fourni le moteur : ce qui montre en passant l'impossibilité du *mouvement perpétuel*, conception utopique caressée par maints inventeurs et qui aurait consisté à fournir, une fois pour toutes, une certaine quantité de travail à une machine, à *la lancer* par exemple, ou à *tendre* un de ses ressorts, etc., et à recueillir ensuite, indéfiniment et gratuitement, des effets utiles, c'est-à-dire du travail. Il est d'ailleurs à remarquer que, dans la Nature, tout se paye, rien n'est gratuit : un résultat quelconque ne s'obtient que par la dépense d'un effort correspondant ; c'est ce qu'on pourrait appeler une *loi d'équivalence* comprenant comme cas particulier la loi de même nom connue en physique et relative à la transformation de la chaleur en travail et vice versa.

Il y a même plus. Non seulement la Nature ne nous rend *jamais plus* que l'équivalent de l'effort, mais elle nous rend *même moins* ; elle prélève en quelque sorte comme un impôt, une dime sur notre travail ; cela est frappant dans une machine, comme nous l'allons voir. Remarquons que nous pouvons classer les forces résistantes en deux catégories : 1<sup>o</sup> celles que nous avons *utilité* à vaincre, comme par exemple celles que l'outil à fileter rencontre de la part de la matière placée sur le tour, ces forces sont surmontées grâce à une dépense de travail dit *utile* ; 2<sup>o</sup> celles que nous sommes dans la nécessité de vaincre sans qu'elles nous soient utiles, ce sont les *forces de frottement* ou *résistances passives*, absorbant une certaine quantité de travail dit *passif*, perdu pour nous. On peut donc écrire :

1<sup>o</sup> Travail résistant = Travail utile + Travail passif ;



mais comme, d'autre part, d'après le principe de la conservation du travail :

$$2^{\circ} \quad \text{Travail résistant} = \text{Travail moteur};$$

on voit que :

$$3^{\circ} \quad \text{Travail utile} + \text{Travail passif} = \text{Travail moteur}.$$

Il résulte de là que, grâce au frottement passif, le travail utile est toujours plus petit que le travail moteur ; autrement dit, la *recette* (ou travail résistant utile) est inférieure à la *dépense* (ou travail moteur absorbé), comme nous l'avions annoncé. La recette ne deviendrait égale à la dépense que dans une machine *parfaite*, c'est-à-dire où tout frottement aurait disparu ; rigoureusement parlant, ce résultat est impossible à atteindre, mais on tâche de s'en rapprocher en construisant la machine au moyen de pièces très bien travaillées et ajustées et, pendant le fonctionnement, en *lubrifiant* les organes, c'est-à-dire en interposant un corps gras entre les surfaces frottantes. Toute machine qui grince ou qui choque est mauvaise ; sa vie n'est qu'un long gémissement, elle fait plus de bruit que de besogne et la plainte qu'elle exhale témoigne de sa maladie ou de l'insouciance de son maître. Les meilleurs mécanismes sont doux et silencieux, ce qui n'exclut pas la puissance

Pour résumer brièvement les considérations précédentes, nous pourrions dire qu'une machine, ou un mécanisme quelconque, n'est pas autre chose qu'un système matériel agencé pour recevoir du travail moteur en une région déterminée et le transporter en une autre région dite d'utilisation, avec un certain déchet, qui est d'autant moindre que la machine est plus parfaite.

Nous allons maintenant fournir quelques indications sur les principales machines-outils. L'essentiel est de montrer, dans chaque cas, le procédé d'*utilisation* du travail : c'est cela, surtout, qui caractérise une machine-outil déterminée ; l'agencement plus ou moins complexe du mécanisme de transmission, ou de transport du travail, très intéressant pour le technicien spécialisé, sera au contraire secondaire ici, d'après le but de cet



ouvrage. Le bâti importe encore moins, bien entendu. Nous nous efforcerons donc de mettre en lumière le procédé d'utilisation, le rôle de l'outil sous une forme *schématisée*, seule compréhensible, le restant étant seulement indiqué sommairement par un pointillé. Nous pensons qu'une vue d'ensemble de la machine en repos, telle que celle que l'on peut voir dans un magasin d'exposition, ou dans un catalogue, est insuffisante et peu instructive : ce qui frappe surtout en elle, c'est la masse du bâti et des mécanismes de transmission, c'est-à-dire l'accessoire.

Puisque l'outil est l'organe essentiel, nous suivrons un ordre parallèle à celui qui a déjà été adopté.

**Raboteuses et Étaux-limeurs.** — L'outil est un ciseau ou un burin à bec pointant en avant. Si la pièce est fixe, tandis

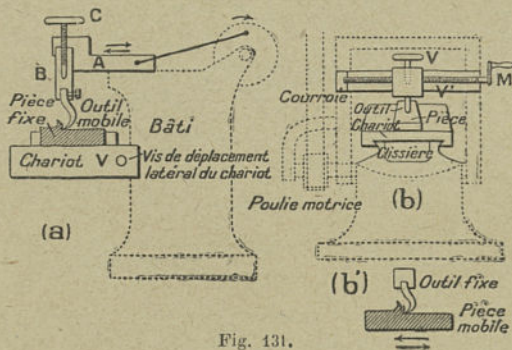


Fig. 131.

(a) Schéma d'un étau-limeur ; (b) et (b') schéma d'une raboteuse.

que le burin est mobile (mouvement alternatif) (fig. 131, a), cet outil fonctionne comme une lime à une seule crête, et la machine prend le nom d'*étau-limeur*.

Si, au contraire, l'outil est fixe et la pièce entraînée par un chariot mobile (mouvement alternatif), la machine s'appelle une *raboteuse* (fig. 131, b et b'). Ces figures indiquent schématiquement les organes essentiels et le fonctionnement de ces appareils, dont le travail est nécessairement assez lent.

**Cisailles.** — Dans les petites installations, ou dans les

chantiers sur place, on emploie la *cisaille à main* (fig. 132) ; l'objet à couper est pris entre la lame fixe, servant de support, et la lame mobile mise en mouvement à la main au moyen d'un long levier.

Dans l'intérieur de l'usine on emploie plutôt la cisaille mue mécaniquement. La figure 133 représente une cisailleuse-poinçonneuse, c'est-à-dire une machine à rôle double : en

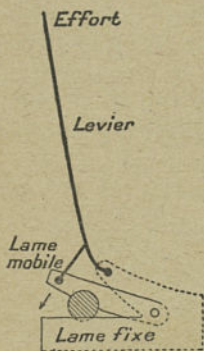


Fig. 132. — Schéma d'une cisaille à main.

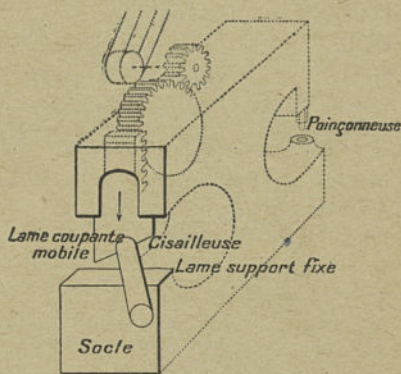


Fig. 133. — Schéma d'une cisailleuse-poinçonneuse.

avant, elle peut couper ; en arrière, elle peut perforer, au moyen d'un poinçon, une tôle destinée à être rivée par la suite.

**Machines à percer.** — Dans les petits ateliers on emploie soit les appareils à main qui ont été décrits antérieurement, soit une machine à percer ou *forerie*, mue à la main, et installable sur un établi.

Les établissements importants emploient des appareils plus puissants, qui sont généralement constitués par un *bâti à colonne* renforcée (fig. 134) ; le mécanisme de transmission a pour but de produire deux mouvements simultanés du foret : 1° un mouvement de rotation plus ou moins rapide ; 2° une descente progressive au fur et à mesure que le trou se creuse.

La figure schématique 134 montre comment est obtenue la

rotation du foret, par l'intermédiaire des roues d'angle  $R_1$  et  $R_2$ . Quant à la descente de l'outil, elle s'effectue très souvent à la main, au jugé de l'artisan,

par la manœuvre d'un petit volant non représenté sur la figure. On peut aussi produire cette descente automatiquement; par exemple (schéma), l'arbre du foret entraîne la roue  $R_3$ , celle-ci mène  $R_4$  et  $R_5$  qui, enfin, conduit  $R_6$ ; cette dernière fait

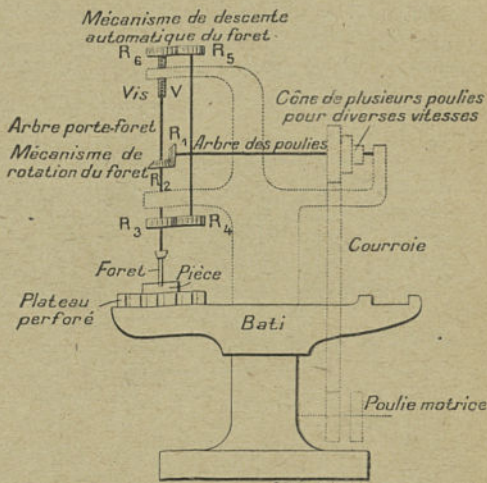


Fig. 134. — Schéma d'une machine à percer verticale.

tourner lentement la vis  $V$  qui sert de vis de butée à l'arbre porte-foret; ce dernier, par suite, participe à ce mouvement de descente.

**Fraiseuses et toupies.** — Une fraise peut se monter sur tout axe tournant de direction quelconque, sur tour horizontal (fraiseuse horizontale); sur un tour vertical (fraiseuse verticale), etc.

Le montage sur l'arbre porte-fraise doit se faire sans jeu aucun, étant donnée la précision du travail à obtenir. L'arrosage doit être extrêmement abondant et nécessite souvent l'adjonction d'une petite pompe centrifuge qui envoie un jet continu d'eau de savon sur l'outil; cette eau n'est pas évacuée au hasard pour éviter le gâchis et la détérioration des appareils; elle est captée dans des rigoles, conduite dans un vase à filtration ou à décantation et sert de nouveau.



Les fraiseuses font un travail bien supérieur à celui des raboteuses sous le triple rapport de la rapidité, du fini et de la précision ; aussi, leur usage qui a révolutionné l'industrie des métaux, pour la production des pièces *en série*, se généralise de plus en plus. Toute installation de ce genre doit comporter un outillage spécial à affûter les fraises ; pour éviter une usure trop rapide de celles-ci, on recommande d'enlever au burin (à air

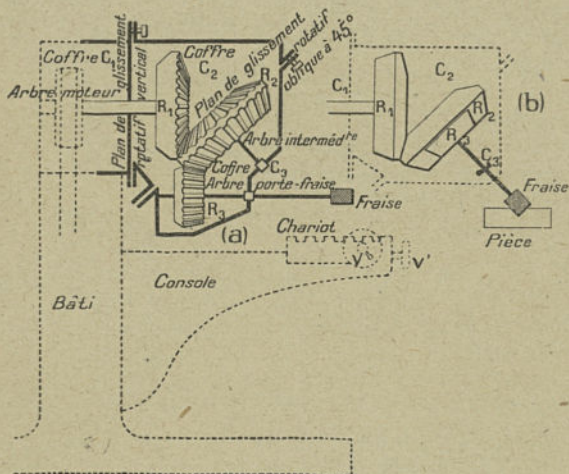


Fig. 135. — Fraiseuse universelle.

comprimé, par exemple) la croûte dure qui existe toujours à la surface des pièces brutes de fonte ou d'acier : c'est ce qu'on appelle, dans ce cas particulier, les *décapers*.

On s'est ingénié à augmenter encore la commodité de ces appareils en permettant à l'arbre porte-fraise de prendre rapidement et à volonté une direction quelconque arbitrairement choisie ; parmi les systèmes qui ont résolu avantageusement ce problème, nous nous contenterons de signaler la *fraiseuse universelle* Huré, très connue. Nous n'en donnerons pas une vue extérieure qui n'apprendrait rien, mais un schéma de la *tête*, c'est-à-dire de la partie de l'appareil qui

commande directement l'arbre porte-fraise (fig. 135, *a*). Cette tête se compose de deux coffres rigides  $C_2$  et  $C_3$  assemblés entre eux suivant un plan de glissement oblique à  $45^\circ$ ; le coffre  $C_2$  est lui-même assemblé au coffre  $C_1$  du bâti, suivant un plan de glissement vertical.

Ces plans d'assemblage sont des surfaces de glissement rotatif, c'est-à-dire que le coffre  $C_2$  peut tourner sur lui-même autour d'un axe horizontal (qui est l'arbre moteur), tout en restant appliqué sur le rebord plat circulaire du coffre fixe  $C_1$ ; de même le coffre  $C_3$  peut tourner sur lui-même autour d'un axe oblique à  $45^\circ$  (qui est celui de l'arbre intermédiaire, voir figure), tout en restant appliqué sur le rebord plat circulaire du coffre  $C_2$ . Ces rotations peuvent se faire d'une façon *mesurée* en observant la graduation qui est gravée sur chaque plan de rotation; une fois ces glissements rotatifs effectués comme on le désire, on peut fixer invariablement les coffres les uns aux autres au moyen d'un système de serrage.

Ceci posé, les coffres  $C_2$ ,  $C_3$  formant la tête, contiennent trois roues dentées:  $R_1$  qui reçoit directement le mouvement de l'arbre moteur,  $R_2$  qui, d'une part, est menée par  $R_1$  et, d'autre part, conduit  $R_3$ ; cette dernière est calée sur l'arbre *porte-fraise*, lequel est solidaire du coffre  $C_3$ . Cet ingénieux système permet de donner à l'arbre de fraise toute direction quelconque, à volonté, sans rompre la solidarité dynamique des engrenages entre eux et avec le moteur. Ainsi, dans le cas de la figure 135, *a*, l'arbre de fraise est horizontal; voulons-nous, maintenant, lui donner une inclinaison de  $45^\circ$  par rapport à la verticale? Nous ferons glisser  $C_3$  sur  $C_2$  de  $45^\circ$  (fig. *b*); etc.

Les *toupies* servent à travailler le bois, à y creuser des moulures, etc. L'outil est généralement une simple lame d'acier, convenablement profilée, mobile autour d'un axe vertical; leur emploi est très économique.

#### Machines à cintrer,

**à courber.** — Pour courber des tôles, cintrer des barres de fer, des rails ou des tuyaux, on les engage dans l'intervalle compris entre deux galets

fixes en acier et un galet à coussinet mobile placé au-dessus,

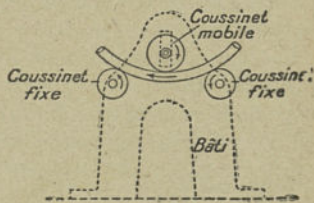


Fig. 136. — Machine à cintrer.

ce qui permet de faire varier l'intervalle à volonté (fig. 136) et, par conséquent, le degré de courbure de la barre.

**Scies mécaniques.** — Il existe des scies à métaux mues mécaniquement, nous ne ferons qu'en indiquer le principe : elles se composent d'une scie dentée circulaire, dont le fonc-

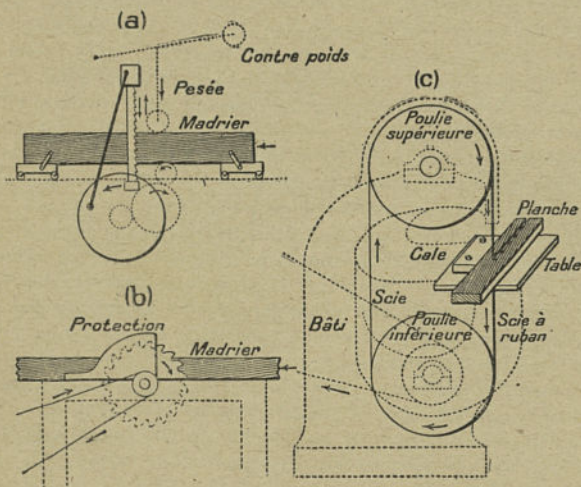


Fig. 137. — Scies mécaniques.

(a) rectiligne alternative ; (b) circulaire ; (c) scie continue à ruban.

tionnement est le même que celui de l'appareil analogue employé pour le bois.

Les scies mécaniques pour le bois appartiennent à trois catégories (fig. 137) :

A) **Scie rectiligne à mouvement vertical alternatif.** — On associe généralement plusieurs lames parallèlement, de façon à débiter tout de suite le madrier dans le nombre de planches voulu.

B) **Scie circulaire à mouvement continu.** — Le fonctionnement se comprend de lui-même ; il suffit de pousser bien droit le madrier contre la denture, en se guidant au moyen



de cales convenablement disposées. Cet appareil, ainsi que le suivant, peut donner lieu à des accidents très graves en cas d'inattention de l'ouvrier : il est bon d'installer des dispositifs protecteurs au-dessus et *au-dessous*, car la sciure s'accumule à la partie inférieure et le préposé à ce travail a toujours une tendance à désobstruer le dessous en portant la main dans le tas de sciure au sein de laquelle tourne rapidement l'outil dangereux.

C) **Scie à ruban à mouvement continu.** — Un long ruban d'acier, taillé en scie sur un de ses bords, est tendu sur deux grandes poulies dont l'une est mise en mouvement de rotation rapide.

### *Notions sur le commerce et le débitage des bois.*

— Au point de vue commercial et industriel, on trouve les bois sous quatre formes : 1° Les bois en *grume* ; ce sont ceux qui sont encore pourvus de leur *écorce* ; 2° les bois *équarris*, utilisés tels quels en charpente, qui sont dépouillés de leur écorce et de la plus grande partie de cette couche assez tendre appelée *aubier* (voir la figure 138, *a*, représentant sommairement la structure d'un arbre ; le meilleur bois est le *cœur*) ; 3° les *bois de sciage* qui proviennent des précédents lorsqu'on les a débités au moyen de la scie ; leur section a la forme d'un rectangle parfaitement régulier ; 4° les bois dits de *fente* qui sont obtenus par simple équarrissage à la hache, dans le sens des fibres ; on obtient ainsi des bois très résistants utilisés pour la confection de *lattes* (avec l'aubier) et de *douves* de tonneaux (avec le cœur).

L'abatage des arbres doit se faire préférablement en hiver, dans la saison où la sève est rare : on abandonne le bois abattu à la dessiccation et on ne devrait les débiter à la scie qu'au bout d'un an et même davantage. On divise généralement les bois, au point de vue de l'origine, en deux catégories :

Bois *indigènes* : acacia, aune, bouleau, buis, charme, châtaignier, chêne, cormier, érable, frêne, hêtre, noyer, orme, peuplier, pommier, poirier, platane, saule, sycomore, sapins [blanc, rouge (mélèze), du Nord], etc.

Bois *exotiques* ou des îles : acajou, bois de rose, ébène, palissandre, bois de teck, etc.

Le débitage des bois à la scie est une opération qui ne doit pas être faite au hasard, si l'on veut obtenir une planche qui ne joue pas

inégalement. Le sciage *b* (fig. 138) est dit sur *cercles annuels* et produit des planches sujettes à un fort gondolement, parce que chacune d'elles est composée de parties appartenant à des régions très différentes de l'arbre disposées dans un ordre varié : il n'y a pas de

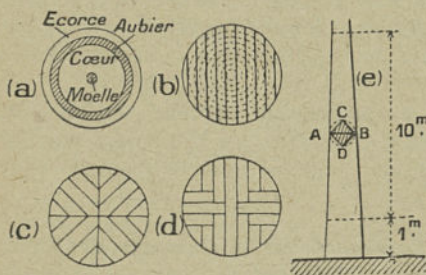


Fig. 138. — Débitage et cubage des bois.

symétrie de constitution sur les deux faces de la planche ; les sciages *c* (sciage Moreau) et *d* (coupe hollandaise) donnent de meilleurs résultats. L'achat des bois en grume se fait au volume, dont l'évaluation ou *cubage* s'effectue d'après diverses règles mi-théoriques, mi-empiriques consacrées par l'usage et qui dérivent toutes du calcul suivant. Soit un arbre assez élevé (fig. 138, *e*) et de forme suffisamment régulière, donc sensiblement comparable à un tronc de cône ; on mesure avec une corde sa circonférence à 4 mètres au-dessus du sol, puis à 11 mètres, c'est-à-dire 10 mètres au-dessus de la précédente, et l'on prend la demi-somme de ces deux longueurs ; on obtient ainsi la circonférence moyenne à 6 mètres au-dessus du sol ; soit *C* cette moyenne ; supposons inscrit un carré *ABCD* (fig. *e*), dans cette circonférence moyenne : le volume du bois utilisable, après équarrissage, est conventionnellement et approximativement pris égal au volume d'un madrier qui aurait comme base ce carré et pour hauteur celle de l'arbre ; tout revient donc à calculer le côté du carré en question, représentant par *a* ce côté et *r* le rayon de la circonférence moyenne.

La géométrie fournit les relations suivantes, rigoureuses :

$$a = r \sqrt{2}, \quad \text{circonférence : } C = 2\pi r \quad (\pi = 3,1416)$$

$$\text{d'où} \quad r = \frac{C}{2\pi} \quad \text{et} \quad a = \frac{C}{2\pi} \times \sqrt{2}$$

ce qu'on peut encore écrire :

$$a = \frac{C}{4} \times \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = \frac{C}{4} \times \frac{28}{31} \text{ approximativement.}$$

Ceci établi, voici les diverses méthodes d'évaluation en usage :

A) Méthode dite au *quart de circonférence* ; elle consiste à prendre  $a = \frac{C}{4}$ .

Ce nombre est trop fort de  $\frac{3}{31}$  ou  $\frac{1}{10}$  environ.

B) Méthode au *cinquième déduit* ; on déduit  $\frac{1}{5}$  sur la valeur de  $a$ , obtenue comme ci-dessus par le procédé du quart de circonférence.

C) Méthode au *sixième déduit* ; on déduit  $\frac{1}{6}$  sur la valeur de  $\frac{C}{4}$  ; c'est la plus employée.

## V. — FABRICATIONS DIVERSES

### Clouterie.

La fabrication des clous a commencé par être exécutée entièrement à la main ; elle se fait actuellement au moyen de machines-outils, dans la grande majorité des cas ; néanmoins nous commencerons par donner quelques indications sur la première méthode, parce qu'elle est encore quelquefois usitée et qu'elle nous permettra de mieux comprendre la seconde. Tout d'abord on peut partager le sujet de la manière suivante :

Clous.	{ forgés à chaud. . . . .	{ à la main,	} peu usités.
		{ mécaniquement.	
	{ estampés à froid . . . . . (Pointes de Paris, etc.).	{ à la main,	
		{ mécaniquement.	
{ divers . . . . .	{ de tapissier, etc.		
	{ en tôle découpée . . . } { fondus de fonte. . . . }		

1<sup>o</sup> Clous forgés à chaud. — Il y a lieu de distinguer, dans un clou, le *corps* (rond ou carré), la *pointe* et la *tête*. Le cloutier choisit des tiges de bon fer de l'épaisseur voulue (verges ou baguettes) et les chauffe au blanc, au feu de forgeron ou de



maréchal-ferrant ; puis, saisissant le métal avec les pinces, il en façonne l'extrémité en pointe par martelage sur l'enclume ; il coupe ensuite la baguette au moyen du tranchet T (fig. 139) et du marteau et l'introduit dans le trou effilé et conique d'une cloutière C ou C' sorte d'étampe en acier dont il a été déjà

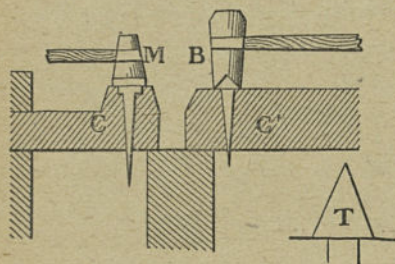


Fig. 139. — Fabrication des clous forgés.

parlé à propos du forgeage. La tige dépasse un peu au-dessous et au-dessus de la cloutière ; le forgeron-cloutier frappe alors avec un marteau M à tête plate afin de refouler le métal encore rouge dans la cavité matricielle (fig. C) ; ou bien, il façonne la tête du clou au moyen d'une étampe B, dite *bouterolle*, portant une cavité creuse dans laquelle se moulera le métal pâteux. Ensuite, un coup de marteau donné en dessous, sur la pointe, fera sauter le clou et la fabrication recommencera dans les mêmes conditions.

Toutes ces opérations peuvent s'effectuer mécaniquement.

Rappelons que les *boulons* et les *rivets* se fabriquent à la forge (Voir fig. 93) manuellement ou mécaniquement.

**2<sup>o</sup> Clous estampés à froid ; fabrication des pointes.** — Les clous appelés *pointes de Paris*, connus partout (fig. 140, b), se fabriquent en quantités considérables à la machine et encore quelquefois à la main de la manière suivante. On choisit du fil de fer du diamètre même du clou et on le coupe en tronçons de trente centimètres de longueur ; on en aigüise une extrémité à la meule ou à la fraise et on coupe la longueur nécessaire pour faire un clou ; on aigüise le tronçon qui reste, on en recoupe la longueur d'un clou, et ainsi de suite jusqu'au bout. Chacune de ces pointes doit maintenant être pourvue d'une tête ; dans ce but on saisit le clou, la pointe en bas, dans une sorte d'étau dont les mors laissent entre eux un trou vertical de faible

diamètre ; le corps du clou dépasse très légèrement le haut des mors, et il suffit de frapper un coup de marteau pour refouler et aplatir le métal sous forme d'une tête plate ; le plus généralement, pour avoir toujours les mains libres et aller plus vite en besogne, le cloutier provoque le serrage de l'étau par la pression brusque du pied sur une pédale dont la tige est mise en relation avec un levier qui fait rapprocher les mors ; en

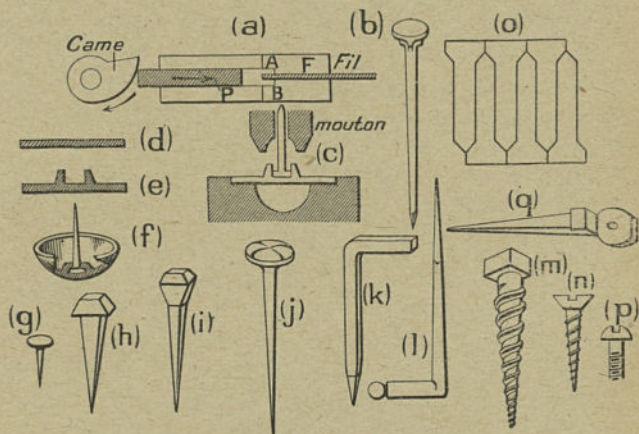


Fig. 140. — Fabrication des diverses sortes de clous.

même temps il fait tomber, sous l'action de la pesanteur, un lourd marteau guidé verticalement (ce qu'on appelle un *mouton*) qui façonne la tête du clou.

Mécaniquement, le fil de fer enroulé sur une bobine, se déroule sous l'action entraînant de deux molettes qui le pincent et tournent en sens contraires. Ce fil F (fig. 140, a) s'engage dans un bloc d'acier perforé qui lui sert de guide et de soutien et vient dépasser légèrement l'extrémité AB au sein d'une petite cavité qui formera matrice pour la tête. Un piston P, chassé par une *came*, vient alors refouler le métal et façonner la tête. En même temps, la pointe se trouve formée par l'action de deux lames cisailantes qui coupent la tige de fer obliquement. Le

bloc d'acier dans lequel est logé le clou, est formé de deux ou quatre parties qui s'ouvrent comme un moule et laissent tomber le clou ; ensuite le bloc se referme, les molettes, qui tournent par à-coups, font de nouveau avancer la longueur de fil nécessaire et ainsi de suite.

3<sup>o</sup> **Clous en tôle découpée.** — La tôle, assez épaisse, est découpée en flancs suivant le tracé indiqué (fig. 140, *o*), ce qui donne des clous bruts que l'on finit à la main ou mécaniquement par les procédés ci-dessus décrits. On termine par un *ébarbage*, destiné à enlever les aspérités, en enfermant les clous avec du sable, dans un tonneau que l'on fait tourner autour de son axe pendant plusieurs heures.

Les très grands clous de tôle peuvent se faire par un travail à chaud au laminoir et un finissage au marteau, pour la tête.

Les clous fondus sont encore en faveur dans certains pays étrangers.

4<sup>o</sup> **Clous divers.** — Soit à fabriquer un de ces clous à tête hémisphérique en acier, ou en laiton, employés en tapisserie (fig. 140, *f*). On part d'un disque, ou *flanc* (fig. *d*), découpé dans une feuille et, par estampage, on provoque l'apparition d'un petit tronc de cône creux (fig. *e*) ; cette rondelle est ensuite placée au dessus d'une matrice en acier creusée d'une cavité hémisphérique (fig. *c*) ; on garnit le tronc de cône d'une pointe de Paris, dont la tige traverse librement un trou cylindrique ménagé dans l'axe d'un mouton ; celui-ci en frappant la rondelle, produit un effet double : il façonne la tête en hémisphère et il rabat les bords du tronc de cône sur la tête du clou, qui se trouve ainsi enchâssé automatiquement.

Les autres figures 140 représentent diverses formes des clous les plus usités : (*g*), *semence* ; (*h*), clou à *tête de diamant* ; (*i*), clou à *cheval* ; (*j*), clou à *bateau*, employé dans la construction des embarcations et pour retenir le plâtre d'un hourdis ou d'un crépissage ; (*k*), clou à *crochet*, en fer carré, forgé ; (*l*), clou à *crochet* en fer rond, estampé mécaniquement ; (*q*), clou à *patte* employé en tapisserie ; etc.

Les *vis à bois* (fig. 140, *n*, *p*) à tête plate ou ronde, se fabriquent généralement par estampage mécanique, d'une manière



analogue à celle usitée pour les clous. Les grosses vis à bois dites *tire-fonds*, à tête carrée (fig. 140, *m*) sont obtenues par *étampage* à chaud, selon les procédés généraux qui ont été exposés à propos du forgeage. Les vis à bois se frayent par elles-mêmes un passage, en s'enfonçant dans le bois et en en écartant les fibres ; celles-ci, à leur tour réagissent et serrent fortement la vis. Les *vis à métaux*, au contraire, réclament un *écrou* taraudé d'avance, et se fabriquent au *tour*, à la *filière* ou au *peigne*, comme cela a été expliqué (Voir antérieurement filetage et taraudage).

### Ustensiles de ménage. — Chaudronnerie.

La chaudronnerie se propose pour but, comme son nom l'indique, de fabriquer tous récipients en métal, tels que *chaudrons*, chaudières, casseroles et autres vases quelconques. Elle part, comme matière première, d'une feuille métallique plus ou moins épaisse, en fer, cuivre, laiton, zinc, etc., et arrive, par divers procédés que nous allons passer succinctement en revue, à lui faire acquérir la forme demandée.

Si le récipient n'est pas trop grand, il peut être constitué d'une seule pièce, abstraction faite des accessoires tels que les anses ou les queues ; sinon, ses parois sont obtenues par l'assemblage d'un certain nombre de parties analogues. Dans le premier cas, on emploie le procédé d'emboutissage ; dans le second, l'assemblage s'effectue par soudage pour les petites pièces, rivetage pour les grandes. La petite chaudronnerie s'occupe de fabriquer les ustensiles domestiques, tandis que la grosse chaudronnerie construit des chaudières de machines à vapeur, des réservoirs et cuiviers pour l'industrie, etc.

#### *Petite chaudronnerie. — Ustensiles de ménage. —*

On fabrique des casseroles, et autres vases destinés à la préparation culinaire des aliments, en fer battu, en cuivre, en nickel, en aluminium et même en porcelaine ; des marmites et des cocottes coulées et moulées en fonte grise ; des cafetières, des entonnoirs, etc. en fer-blanc (fer étamé) ; des seaux, des

brocs, des arrosoirs, des tubs, etc. en zinc ; des couverts en fer battu, en cuivre ou en métal blanc argentés (ruolz, allénide), ou encore en argent massif, etc. Un même objet, ou ustensile de ménage, peut ainsi être obtenu de façons très variées. Il nous suffira d'exposer seulement quelques procédés de fabrication.

**Travail par emboutissage.** — 1<sup>o</sup> Fer battu. — Soit, par exemple, à fabriquer un chaudron, de forme basse et élargie appelée poêle à frire (fig. 141, c) ; l'ouvrier fait choix d'une

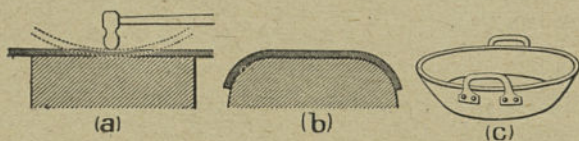


Fig. 141. — Fabrication d'un objet en fer battu par emboutissage au marteau.

feuille de bonne tôle douce d'épaisseur un peu plus forte que celle qu'il faut finalement obtenir, il l'applique sur une sorte d'enclume et la *bat* (d'où le nom de fer battu) avec un marteau à tête ronde dit *emboutissoir*, en commençant par le centre ; sous son action, le métal subit une sorte d'étirage latéral, en s'amincissant, et ses bords se relèvent peu à peu (fig. a). Lorsque la courbure est jugée suffisante, la feuille est retournée et appliquée sur une enclume de forme plus prononcée (fig. b) et le battage continue sur cette deuxième face. Quand la forme définitive est obtenue, la tôle que l'emboutissage précédent a écroûie, rendue cassante, est recuite avec soin et abandonnée à un refroidissement lent ; on la *décape* ensuite, c'est-à-dire qu'on enlève, au moyen de sable ou d'un acide, la couche d'oxyde qui a pu se former pendant le recuit.

Les bords du vase sont irréguliers et rugueux ; on les *dresse* à la meule de grès jusqu'à courbure et régularité parfaite ; il ne reste plus qu'à munir la pièce des accessoires nécessaires à sa préhension, anses ou queue, ce à quoi on arrive en les fixant par rivetage, à froid pour les faibles dimensions, au rouge pour les grandes (Voir antérieurement, tôle et rivetage



des tôles et fig. 98). Le vase peut être vendu tel quel ou bien recevoir un étamage, un émaillage ou un zingage (galvanisation, voir antérieurement : propriétés de la fonte § 3, chapitre II).

Actuellement, la fabrication manuelle cède le pas de plus en plus aux opérations mécaniques. Pour obtenir l'objet précédent, on dispose la feuille de tôle sur une matrice en acier dont le creux correspond à la forme extérieure du vase, et on l'y pousse progressivement par le moyen d'un *mandrin* convexe qui donnera la forme intérieure (voir antérieurement, emboutissage et fig. 69, *d*).

La supériorité de l'emboutissage mécanique réside dans les faits suivants : l'opération est plus rapide, plus régulière et la pièce sort avec une *surface unie*, tandis que l'emboutissage au marteau laisse des *bosselures* que l'on peut garder en vue de certains effets originaux ou artistiques, mais que l'on enlève généralement par le *planage* ; cette opération consiste à faire tourner rapidement la pièce et à appliquer assez fortement sur sa surface un système de roulettes métalliques.

**2<sup>o</sup> Cuivre embouti.** — On fabrique en cuivre embouti une quantité de récipients culinaires très appréciés grâce à ce fait que ce métal est un des meilleurs conducteurs et que, par suite, les aliments sont chauffés plus régulièrement que dans le fer battu, brut ou émaillé.

L'emboutissage a, en outre, sur tous les autres procédés, l'avantage d'être absolument étanche et de ne pas offrir les chances de dégradation ou d'altération que présentent généralement les soudures.

La fabrication est entièrement analogue à celle des objets en fer, si ce n'est qu'ayant affaire à un métal plus tendre, il faut le traiter avec ménagement et douceur, le marteler avec une tête de bois, ou bien sur le bois lorsqu'on termine par l'emboutissoir en fer. De plus, il faut avoir soin de recuire plusieurs fois le métal pendant le travail.

**Travail par soudage.** — Soit à fabriquer un récipient conique en fer ou en cuivre (fig. 142, *c*). Les dimensions ayant été fixées, il s'agit de découper dans une feuille de tôle ce qu'on



nomme en géométrie le *développement* de la surface. Dans le cas présent, ce développement se compose du fond circulaire (fig. *b*) et d'un trapèze à bases curvilignes (fig. *a*) ; on effectue ces découpages avec un *peu de marge* de façon à pouvoir pratiquer des *dentures*, comme le montre la figure, destinées à rendre l'assemblage plus solide ; le bord circulaire inférieur est rabattu horizontalement pour pouvoir s'adapter au fond plat. On

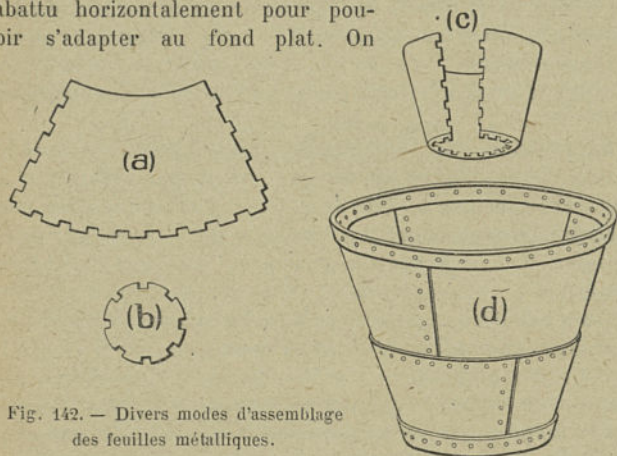


Fig. 142. — Divers modes d'assemblage des feuilles métalliques.

assemble et ligature le tout et on brase à la soudure forte (laiton et borax) comme cela a été indiqué à l'article *forgeage* et *brasage*. Dans le cas du cuivre, on brase avec un alliage de laiton forcé en zinc pour le rendre plus fusible.

Les ustensiles de cuisine ou de ménage en fer-blanc (cafetières, entonnoirs, etc.), les vases en zinc, sont assemblés à la soudure faible (soudure à l'étain), sans endentures, mais par *recouvrement* des bords, car le simple *affrontement* ne serait pas assez résistant, vu la faiblesse de la soudure. Ajoutons que ce recouvrement peut être consolidé encore par l'*agrafage* des bords que l'on replie avec pénétration réciproque.

**Travail par rivetage.** — Les feuilles de tôle pour la grosse chaudronnerie s'assemblent au moyen de rivets par le

procédé indiqué antérieurement à l'article *tôle* (voir fig. 98 et le texte qui s'y rapporte). Soit par exemple la *benne* en fer (fig. 142, *d*) : les feuilles de tôle latérales seront successivement *poinçonnées*, c'est-à-dire perforées au poinçon, puis *cintrées* (Voir Machines-outils) et enfin assemblées par des *rivets*. Le fond concave pourra être obtenu par emboutissage, puis rivé.

## Serrures.

**Généralités.** — On comprend, sous l'expression générale de *quincaillerie*, l'ensemble des objets métalliques, ustensiles et outils, fabriqués en vue d'un usage déterminé, à l'exclusion des monnaies, bijoux, orfèvrerie et objets d'art.

La grande quincaillerie s'occupe du gros outillage en général ; la petite concerne la fabrication et la vente des objets d'usage domestique : ferblanterie, articles de ménage, jardinage, petite chaudronnerie, éclairage, chauffage, pêche, etc.

La quincaillerie *du bâtiment* comprend tous objets en métal qui trouvent leur emploi dans la construction des maisons : grosses charpentes de fer, grilles, balcons, ferrures diverses, serrures et autres modes de fermeture ; il arrive même qu'on généralise l'expression de *serrurerie* en la prenant dans le sens étendu de quincaillerie ; on dit serrurerie en bâtiment, serrurier-mécanicien, serrurier-charron, etc.

Nous ne nous occuperons ici que de la serrurerie proprement dite, envisagée dans son sens le plus restreint : celui de la fabrication des *serrures*, c'est-à-dire des dispositifs imaginés pour maintenir invariablement fixe tout système qui, par sa nature même et son mode d'emploi, est doué de mobilité, comme une porte, un tiroir, une fenêtre.

**Des baies en général.** — Une *baie* est toute ouverture pratiquée dans un mur pour livrer passage aux êtres ou aux choses : porte, fenêtre, cheminée, etc. Toute baie est bordée par une sorte de cadre, plus ou moins apparent et mouluré, appelé *chambrante*. Une *porte*, ou *huis*, est réservée spécialement à la circulation des êtres et, lorsqu'on veut intercepter

celle-ci, on obture l'ouverture par une cloison mobile, de bois ou de métal, appelé *vantail* ou *battant* de la porte et même *porte* par extension de sens. Ce battant est mobile, autour d'un de ses bords verticaux, de façon qu'il puisse s'ouvrir ou bien se refermer, en venant s'appliquer exactement dans une

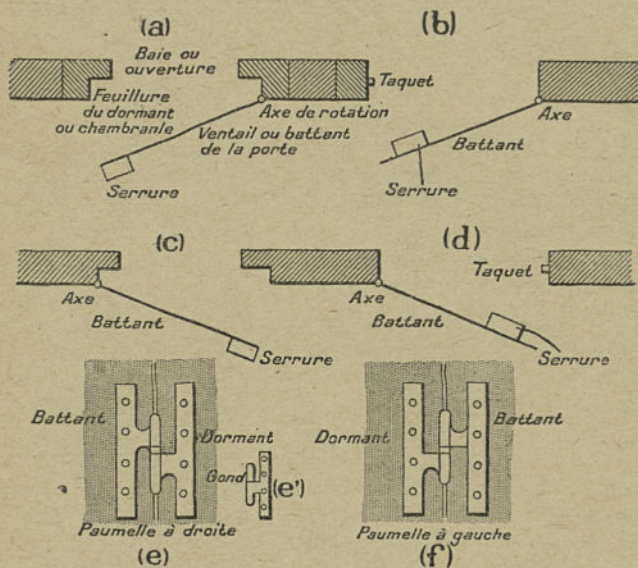


Fig. 143.

(a) (b) (c) (d) dispositions pouvant être données à « la main » d'une porte :  
 (e) (e') (f) paumelles.

entaille à mi-bois dite *feuillure*, pratiquée tout le long des trois côtés d'un cadre fixé invariablement au chambranle et appelé *dormant* de la porte. L'ensemble des pièces de bois qui garnissent une porte prend le nom d'*huisserie* (fig. 143).

**Paumelles.** — L'axe vertical de rotation du vantail est réalisé matériellement au moyen de pièces métalliques appelées *paumelles* (fig. 143, *e*, *e'*, *f*) composées de deux parties analogues : l'une, telle que *e'*, est fixée par des vis au dormant et



porte une tige verticale appelée *gond* ; l'autre partie de la paumelle est vissée sur le battant et présente une cavité cylindrique qui peut s'adapter exactement sur le gond ; on interpose, entre ces deux parties, une petite rondelle de cuivre pour faciliter les mouvements. Il faut *au moins* deux paumelles que l'on dispose suivant une ligne rigoureusement verticale.

**De la main à donner à une porte ou une serrure. —**

La première chose à faire avant de poser une porte et tout ce qui en dépend, paumelles et serrures, est de se rendre compte de la *main* qu'il est le plus avantageux de lui donner, c'est-à-dire de la façon dont il sera préférable de la manier, selon la disposition des lieux ou des dégagements.

Par rapport à un observateur qui regarde une porte, il y a quatre manières différentes de disposer le système ; en effet l'axe de rotation peut être à droite ou à gauche et, dans chacun de ces deux cas, la serrure peut être en avant ou en arrière, soit en tout quatre cas différents et quatre expressions distinctes dont nous allons préciser le sens.

**1<sup>o</sup> Classification par rapport à l'axe ou aux paumelles. —**

Supposons un observateur placé dans l'espace *balayé* par la porte, c'est-à-dire dans le volume qu'elle décrit par sa rotation, et regardant vers l'ouverture <sup>1</sup>, donc vers la feuillure de l'huissierie. Si la personne a l'axe à sa droite, on dit que l'axe ou les paumelles sont à droite ; elles sont à gauche dans le cas contraire. Ainsi :

Figure 143, *a* et *b* ; paumelles à droite ;

Figure 143, *c* et *d* ; paumelles à gauche.

**2<sup>o</sup> Classification relativement à la serrure. —**

Imaginons maintenant l'observateur debout le long même de l'axe du battant et regardant dans la direction de la serrure ; s'il voit celle-ci à droite, on dit alors que la porte *ouvre à droite* ; ainsi :

Figure 143, *b* porte ouvrant à droite ; la serrure pousse le bois ;

Figure 143, *c* — — — tire le bois.

1. Nous excluons le cas de la porte banale, sans feuillure, qui s'ouvre dans les deux sens.

Dans le cas contraire, la porte *ouvre à gauche* ; ainsi :

Figure 143, *a* porte ouvrant à gauche ; la serrure tire le bois ;

Figure 143, *d* — — — — — pousse le bois.

Le système de fermeture : loquet, verrou, cadenas, serrure, crémonne de fenêtre, etc., comprend généralement plusieurs parties dont l'une est fixée sur le dormant et l'autre sur une des faces du battant dans le voisinage du bord. Avant de se procurer ces diverses pièces, il est nécessaire de se rendre compte exactement de la « main d'emploi » à cause des différences de disposition qu'elle implique.

**Systèmes simplifiés de fermeture.** — Le *loquet* à bascule (fig. 144, *a*) réalise une fermeture banale que peut faire fonctionner le premier venu.

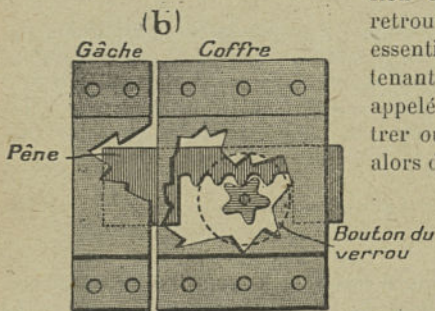
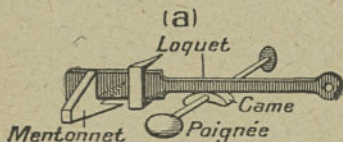


Fig. 144. — Systèmes simplifiés de fermeture.  
(a) loquet ; (b) verrou.

Le *verrou* (fig. 144, *b*) est la plus simple expression d'une serrure ; on y retrouve les trois parties essentielles : le *coffre* contenant un organe mobile appelé *pêne*, pouvant rentrer ou sortir et s'engager alors dans une ouverture de

la seconde partie appelée *gâche* ; celle-ci est vissée sur le dormant, tandis que la première est fixée sur le battant.

La troisième partie joue le rôle de clef

non amovible, c'est le *bouton* qui peut faire tourner un petit pignon denté, lequel, agissant sur les dents ou échancrures du pêne produit le mouvement désiré.

**Serrure.** — Diverses parties et aspect extérieur. —

Une serrure comprend trois pièces séparées : le *coffre* et la gâche comme pour le verrou, plus une *clef* (fig. 145, a, b, c).

**Clef.** — On distingue trois parties dans la clef (fig. 145, c) : l'*anneau* qui sert à la suspendre et facilite la manœuvre, la *tige* et le *panneton*, ou extrémité élargie, qui joue un rôle absolument analogue à une dent d'engrenage et porte généralement des entailles, cannelures ou *redans* devant concorder

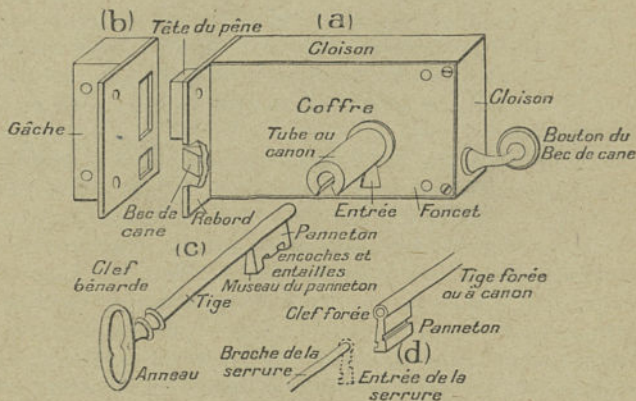


Fig. 145. — Parties extérieures d'une serrure.

avec des accidents analogues disposés en contre-partie à l'intérieur du mécanisme, sur des pièces appelées *gardes* ou *garnitures*.

La tige de la clef peut être creuse (*clef forée*) ; la serrure porte alors, comme contre-partie devant pénétrer dans ce tube, une tige pleine appelée *broche* disposée juste dans l'axe du trou d'entrée et qui sert de guide. Dans ce cas, la clef ne peut servir que d'un seul côté de la serrure [serrure à *broche* (fig. 145, d)].

La tige est, le plus souvent, pleine ; la clef peut alors ouvrir des deux côtés de la serrure, ce qui est un grand avantage ; on dit alors que la clef ou la serrure est *bénarde*.

On appelle *museau* la tranche du panneton, c'est-à-dire la



partie qui est destinée à affronter le pêne, à prendre contact avec lui.

**Coffre et pêne.** — L'aspect extérieur du coffre est visible sur la figure 145, *a*. Il consiste en une boîte rectangulaire en tôle dont les côtés prennent le nom de *cloison* et de *rebord*. Les trois côtés de la cloison sont formés d'une seule bande repliée; le rebord est une pièce séparée plus haute que les autres. Le fond épais, non visible sur la figure, s'appelle *palastre*, la plaque mince qui joue le rôle de couvercle prend le nom de *fonce*; celui-ci est percé d'un orifice appelé *entrée* faisant vis-à-vis à un autre trou semblable, à l'opposé, dans le palastre. Un *tube*, ou *canon*, est fixé sur le fonce et sert à guider la clef.

De ce coffre on voit sortir, sur la gauche, la pièce massive de fer appelée *pêne* que la clef est chargée de faire rentrer ou sortir. L'extrémité visible du pêne, celle qui peut s'engager dans l'ouverture correspondante de la *gâche*, s'appelle la *tête du pêne*; la partie intérieure du pêne, très longue, en est la *queue*; nous verrons tout à l'heure, comment elle est disposée.

Beaucoup de serrures portent en outre un deuxième pêne dont la tête est taillée en biseau et fait constamment saillie au dehors, parce qu'elle est poussée par un *ressort* intérieur; un tel pêne prend le nom de *bec de cane*, il peut entrer en jeu de deux façons: 1<sup>o</sup> pour *ouvrir*: en tirant à la main le bouton de manœuvre (fig. 145, *a*, à droite), le bec de cane se dégage de la gâche et, abandonné ensuite à lui-même, il réapparaît automatiquement au dehors sous l'action de son ressort; 2<sup>o</sup> pour *refermer*, il suffit de pousser doucement le ventail de la porte dans sa feuillure, le plan incliné du biseau porte sur la lèvre de la gâche, d'où une pression qui fait rentrer momentanément le bec dans le coffre et le laisse ensuite ressortir quand le battant est appliqué juste dans la feuillure. Ce système est très commode pour les allées et venues puisqu'il dispense d'employer la clef à chaque instant. Par opposition au bec de cane, le *pêne dormant* est celui qui est *coincé* par le mécanisme intérieur et, par suite, ne peut être libéré, mis en mouvement, que par l'action d'une *clef*.

**Gâche.** — Par son aspect extérieur, elle rappelle le coffre, mais sous une forme ramassée puisqu'elle est dépourvue de tout mécanisme intérieur. Elle se fixe sur le dormant de l'huiserie.

**Mécanisme intérieur.** — Ouvrons le coffre de la serrure en enlevant les deux petites vis qui maintiennent le foncet et, soulevant celui-ci, nous apercevons un mécanisme ayant l'aspect général qu'indique la figure 149, sur laquelle les pièces de cuivre ou de laiton ont été représentées par un *grené*, les autres parties étant en fer. Nous distinguons, au-dessus du pêne, des pièces de laiton perforées et pivotantes munies chacune d'un petit ressort ; ce sont les *garnitures*, gorges ou *gardes mobiles* ; elles sont toutes engagées, par une ouverture circulaire, dans une même tige B, leur servant d'axe, et que nous appellerons l'*ergot* du palastre, parce qu'elle est fixée invariablement sur le fond ou palastre. Enlevons ces gardes mobiles avec précaution, il nous reste alors le mécanisme simplifié que montre la figure 146. Nous voyons que la queue du pêne est découpée en indentations appelées *barbes du pêne* ; que ce pêne porte un *ergot* rectangulaire E, dont nous verrons le rôle tout à l'heure, et une ouverture allongée VW à travers laquelle passe l'ergot B du palastre ; si nous faisons marcher le pêne avec le doigt dans un sens et dans l'autre, nous constatons qu'il est constamment guidé, dans son mouvement alternatif, par l'ergot B d'une part, et l'ouverture AA' pratiquée dans le *rebord*, d'autre part ; le pêne porte, en outre, une petite tige perpendiculaire servant d'axe à un *levier coudé* LL' ; l'extrémité L' pénètre dans un vide ménagé dans la queue du bec de cane et les mouvements du pêne, quoique entraînant l'axe L, n'ont aucune influence sur l'immobilité du bec de cane. Inversement, tirons le bouton extérieur du bec de cane, l'extrémité L' peut se mouvoir, mais en tournant autour de L, sans influencer le pêne ; abandonnons le bouton, le ressort se détend et ramène le bec biseauté hors du coffre.

Introduisons maintenant la *clef* (fig. 147) et tournons-la dans le sens de la flèche *f*, le *museau* de son panneton vient affronter la *barbe* n° 1 et pousse le pêne dans le sens *f'* : nous



avons fait ainsi un *demi-tour* de clef ; un *tour entier* de plus pousse la barbe n° 2 ; il nous faut encore faire un *demi-tour* pour dégager et retirer la clef : soit au total *deux* tours, ce qui

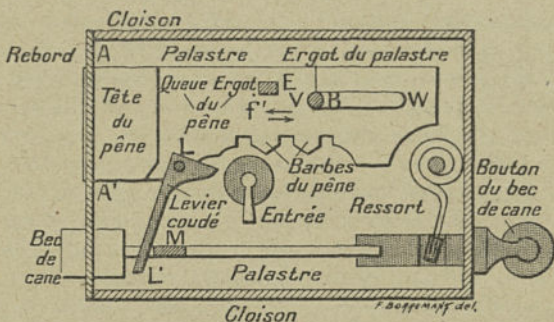


Fig. 146. — Disposition intérieure d'une serrure, les gardes mobiles étant enlevées.

fait dire que la serrure est fermée à *double tour*. Toute cette manœuvre laisse le bec de cane tranquille, son levier coudé LL' ne faisant, comme on l'a dit, que pivoter autour de son axe

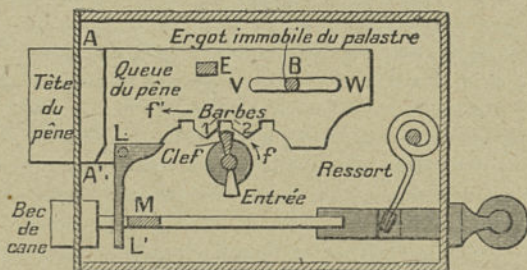


Fig. 147. — Commande du pêne par le panneton de la clef.

mobile L. Les mouvements inverses de la clef ramèneront le pêne à sa position première ; supposons que cela soit réalisé et qu'on continue à tourner la clef dans ce sens rétrograde /

IRIS - LILLIAD - Université Lille



(fig. 148); le museau du panneton va buter contre la petite branche du levier coudé et entraîner celui-ci de telle façon que sa grande branche L' va pousser le butoir M de la queue du bec

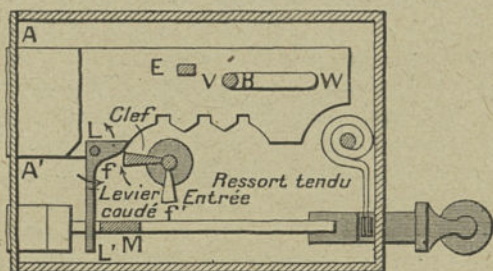


Fig. 148. — Commande du bec de cane par le panneton de la clef.

de cane et faire rentrer celui-ci, c'est-à-dire ouvrir la serrure.

D'après ce qui précède, le mécanisme du bec de cane, ci-dessus décrit, est complet et se suffit à lui-même; il n'en est pas de

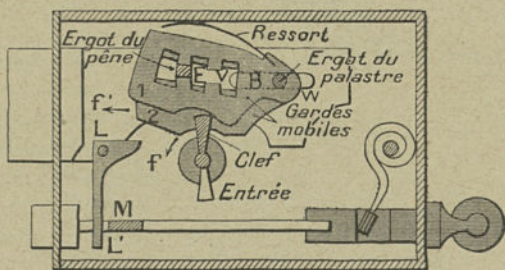


Fig. 149. — Commande des gardes mobiles et du pêne par le panneton de la clef.

même de celui du pêne qui, pour fermer au sens absolu du mot, doit être *coincé* dans chacune de ses positions, c'est-à-dire fixé invariablement par des dispositifs d'*arrêt*, c'est ce rôle que sont appelées à remplir les gardes mobiles; remettons celles-ci en place (fig. 149) en observant scrupuleusement

l'ordre de leur numérotage (essentiel). Nous observons qu'elles sont toutes dissemblables, non seulement par la forme des indentations du découpage intérieur, mais encore par celle du contour extérieur. Introduisons de nouveau la clef et faisons-la tourner dans le sens de la flèche *f*, nous constatons que les *redans* du museau de clef soulèvent chacun une garde seulement; que toutes ces gardes, au nombre de six ou sept, sont soulevées, *par conséquent*, de quantités *inéga*les, mais que tout se correspond si bien que leurs dents en regard laissent juste la place suffisante à l'ergot de pêne E pour qu'il puisse passer, par suite de l'action du dernier redan du panneton, sur la barbe du pêne. La figure 149 n'indique que deux gardes, 1 et 2, pour rendre le dessin plus intelligible. On conçoit que, pour qu'une clef puisse ouvrir cette serrure, il faut d'abord qu'ayant pu entrer, son dernier redan puisse atteindre les

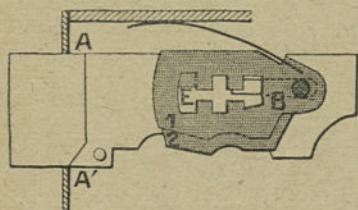


Fig. 150. — Ergot de pêne au cran d'arrêt.

barbes du pêne et les actionner, ce qui ne présente aucune difficulté en soi; mais ceci ne suffit pas, car l'ergot de pêne E est *coincé*, c'est-à-dire fixé et calé dans la dernière échancrure de toutes les gardes (fig. 150); pour décoincer le système, il ne suffirait pas de lever

une seule garde avec un *crochet* (ce qui s'appellerait *crocheter la serrure*), mais il faudrait les soulever toutes simultanément (pas de difficulté) et de quantités *inéga*les, inconnues du crocheteur; la serrure est donc dite de *sûreté* à cause de cela. En y mettant le temps, on pourrait, théoriquement du moins, arriver à décoincer le système; s'il y a six gardes, elles peuvent être disposées de 720 manières différentes (nombres des *permutations* de six objets); s'il y en a sept le nombre des dispositions monte à  $720 \times 7 = 5040$ , de sorte que, pratiquement, à moins d'un hasard extraordinaire, la serrure à gardes mobiles *suffisamment nombreuses* est incrochetable.

Il est certain, par contre, d'après ce qui précède, qu'une serrure à une seule garde, comme celle de la figure 151, ne présente aucune espèce de garantie, car le nombre des tâtonnements à opérer par un cambrioleur est très restreint. Dans cette serrure, le pêne, outre ses barbes inférieures, porte sur son bord supérieur un système d'encoches ou crans d'arrêt F, F' dans lesquels vient s'engager l'ergot E de la garde; le pivot de celle-ci est en A, en dehors du pêne, et non pas sur l'ergot B du palastre.

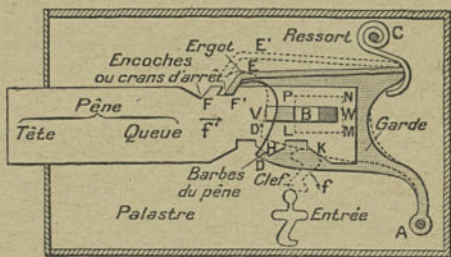


Fig. 151. — Serrure à une seule garde.

Certaines serrures ont un palastre muni de *gardes fixes*, sorte de lames minces en tôle, placées dans le voisinage de l'entrée, et qui doivent pénétrer dans des fentes concordantes pratiquées dans le panneton de la clef. Quant aux *cannelures* longitudinales que porte parfois ce panneton, elles ne constituent aucunement un dispositif de sûreté.

Dans les serrures à *combinaison* ou à *secret*, diverses pièces du mécanisme doivent, préalablement, s'ajuster entre elles d'une façon spéciale avant que la clef puisse jouer; cette disposition est surtout usitée pour les *coffres-forts*.

**Cadenas.** — Le cadenas est une serrure *mobile* dont le pêne reste invisible à l'intérieur du coffre, tandis que la gâche, représentée par l'orifice percé dans une branche recourbée pivotante, vient pénétrer dans le coffre (fig. 152).

**Notions sur la fabrication.** — Il y a lieu de distinguer la fabrication des pièces séparées, puis leur montage.

1<sup>o</sup> *Fabrication des pièces séparées.* — Le palastre, la cloison et le rebord sont découpés à l'emporte pièce et au mouton dans des feuilles de tôle d'épaisseur convenable (le



palastre est plus épais); on perce les trous nécessaires et on coude convenablement la bandelette destinée à former la cloison. On peut aussi obtenir le coffre d'un seul coup par emboulissage.

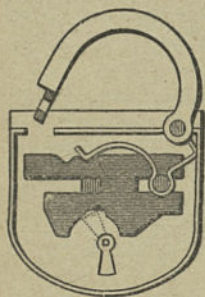


Fig. 152. — Cadenas.

On choisit ensuite une barre de bon fer, on la chauffe au rouge et on lui donne par le forgeage la forme approchée du pêne, puis, après refroidissement, on l'achève à la lime et on pratique les entailles et les barbes. On fait de même pour les autres pièces et le tout passe aux mains du monteur ou ajusteur qui donne le fini nécessaire. La clef est obtenue dégrossie par estampage, puis terminée à la lime jusqu'à parfait fonctionnement.

### Coutellerie.

La coutellerie se propose pour but de fabriquer tous instruments tranchants utilisés pour les usages domestiques, tels que

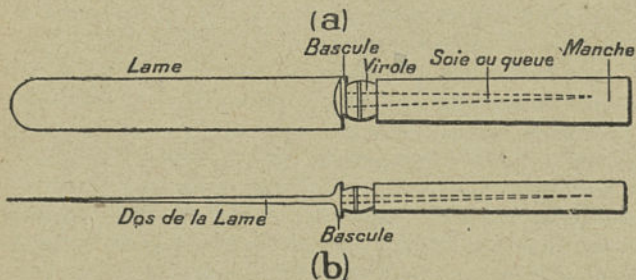


Fig. 153. — Couteau de table.

couteaux, canifs, rasoirs, ciseaux, etc. Les instruments plus volumineux et plus grossiers, nécessaires au travail agricole ou

forestier, tels que faux, faucilles, haches, scies, etc., ressortissent à la branche d'industrie dénommée *taillanderie*.

Les couteaux utilisés à la maison, pour le service de la salle à manger et de la cuisine, constituent un tout rigide, indéformable : ce sont les couteaux *non fermants*; la figure 153, *a* et *b*, représente un *couteau de table* : (*a*) vu de face (*b*) vu du côté du *dos* de la lame; celle-ci est en acier et se termine par une queue ou *soie* pénétrant dans un *manche* ou poignée en bois, ou en os, etc.

La lame et la *soie* sont séparées par un épanouissement plat du métal appelé *bascule*, qui est destiné à éviter que la lame du couteau vienne toucher la table ou la nappe sur laquelle on le pose : enfin, entre la *bascule* et le manche est interposée une petite rondelle métallique appelée *virole*. La *soie* est assemblée au manche au moyen d'une matière résineuse spéciale ou, plus solidement, par rivure de l'extrémité.

Un couteau de poche, un canif, sont des instruments *fermants* (fig. 154). Les parties essentielles sont la ou

les *lames*, le *ressort* et deux joues métalliques parallèles, appelées *platines*, formant comme une sorte de boîte étroite où viennent se loger les lames et jouant, en outre, le rôle de manche. Toutes ces diverses pièces sont assemblées au moyen de rivets ou de tourillons d'articulation. La partie de la lame voisine de l'articulation est indentée de deux échancrures dans lesquelles vient se loger la tête du ressort lorsque la lame est rentrée ou sortie; celle-ci se trouve ainsi fortement maintenue et, pour la faire sortir, il faut communément introduire l'ongle dans un sillon creusé dans le voisinage du dos; on aperçoit en outre, sur la figure, des petits anneaux de manœuvre qui permettent de suppléer au moyen précédent souvent incommode.

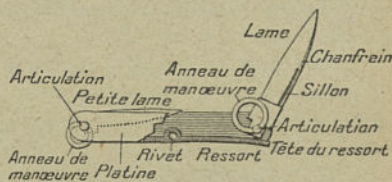


Fig. 154. — Couteau fermant, canif.

**Notions sur la fabrication.** — Cette fabrication se faisait autrefois exclusivement à la main par le forgeage de l'acier à chaud, pour donner à la barre la forme dégrossie de la lame; on étirait une extrémité de façon à constituer la queue ou soie et on estampait la bascule. Il fallait ensuite que la lame, brute et rugueuse, passât aux mains de l'ouvrier limeur qui achevait de lui donner sa forme précise; puis on la trempait et la recuisait; ensuite elle passait à l'émouillage, au polissage et au montage.

Actuellement, dans les ateliers de grande production, la fabrication se fait surtout au moyen de machines-outils. La lame est forgée, soit par laminage, soit par estampage et passe ensuite entre les mains de l'ouvrier limeur ou fraiseur. Après la trempe et le recuit vient naturellement l'émouillage, suivi d'un aiguisage sur des meules fines et un affilage sur des pierres arkansas; le polissage s'effectue sur des meules de bois garnies de feutre ou de cuir.

La fabrication des couteaux fermants se complique de tout ce qui est relatif à l'obtention du manche; on emploie dans ce but des machines-outils: découpoirs, emporte-pièces, fraiseuses, perceuses, etc.

La fabrication des couteaux est très active à Thiers et à Châtellerault. Celle des *armes blanches* (sabres, épées, baïon-

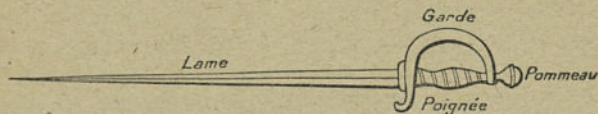


Fig. 155. — Épée.

nettes, etc.) est surtout localisée à Saint-Étienne et à Châtellerault. La figure 155 montre les diverses parties constitutives d'une épée, elles s'obtiennent par des procédés qui ont la plus grande analogie avec ceux qu'on vient de décrire; quant au *fourreau* on le prépare au moyen d'une bande de tôle recourbée sur mandrin, soudée à chaud et polie.



## ARMES A FEU

### ARMEMENTS D'ARTILLERIE : CANONS

**Généralités.** — A côté des couteaux, des sabres et des baïonnettes qui constituent ce qu'on appelle les *armes blanches* il existe le groupe important des *armes à feu* : canons, fusils, carabines, pistolets. Le principe général de ces engins de destruction est le suivant : on utilise la pression élevée produite par les gaz résultant de la combustion rapide d'un explosif pour lancer un corps appelé *projectile* qui se trouve ainsi animé d'une vitesse considérable.

Le dispositif de lancement est théoriquement très simple et n'est pas particulier au sujet qui nous occupe. Imaginons (figure 156) un tube

cylindrique résistant C, dans lequel peut glisser un cylindre plein P, et supposons placé à l'intérieur une matière à l'état de tension : air comprimé, vapeur sous pression, ressort tendu,

mélangé explosif de gaz et d'air, ou de vapeur, d'essence et d'air, poudre à combustion explosive, etc., *déclançons* ce système en libérant le cylindre P et en provoquant l'inflammation de l'explosif, le milieu tendu devient une force motrice et, en se détendant, pousse d'une part le cylindre P et d'autre part, le fond du tube C ; celui-ci peut être le *cylindre* d'un moteur à explosion (essence, gaz, alcool et benzol, etc.), ou l'*âme* (ou tube) d'un canon, d'un fusil, etc. ; le corps expulsé P peut être le *piston* du moteur (avec retour obligé en arrière) ou le *projectile* d'une arme à feu. Il y a donc la plus grande analogie entre un moteur et un canon.

Dans le cas des armes à feu, le milieu qui se détend résulte

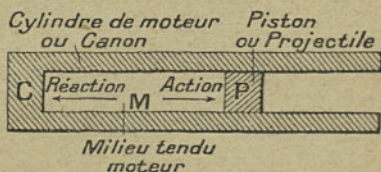


Fig. 156. — Moteur et canon.

de la combustion interne d'une substance appelée *poudre* ; celle-ci est enflammée par la décomposition brusque d'une matière encore plus explosive, le fulminate de mercure, présente au sein de la poudre sous forme d'une très petite quantité appelée *amorce* ; ce fulminate, par le choc d'une pièce appelée *percuteur*, détone et enflamme la poudre dont la combustion extrêmement rapide donne lieu à la production d'une grande quantité de gaz portée à une haute température ; le volume de ce gaz serait des milliers de fois plus grand que celui de l'espace où il se trouve si la combustion s'opérait à l'air libre : aussi ce fluide, emprisonné dans un espace très petit, prend-il une force élastique considérable et repousse énergiquement les parois qui l'enserrent ; si le canon est assez résistant, il n'éprouve qu'un effet de recul, qui peut aller jusqu'à plusieurs mètres si l'on ne *freîne* pas convenablement, tandis que le projectile est lancé violemment au dehors où son centre de gravité décrit une courbe appelée *trajectoire*.

Ainsi, dans cet exemple, nous voyons agir deux forces : celle qui lance le projectile et celle qui pousse le canon en sens inverse en produisant le déplacement en arrière appelé *recul* de la pièce. Comme ces deux forces sont égales, elles communiquent respectivement au projectile d'une part, au canon d'autre part, des accélérations de mouvement qui sont dans le rapport inverse de ces masses ; ainsi, si le canon vaut cent fois le projectile comme masse, il ne prendra, par contre, qu'une accélération de vitesse cent fois moindre.

Notre étude portera successivement sur les points suivants :

- 1<sup>o</sup> Le projectile et ses effets ;
- 2<sup>o</sup> La trajectoire, ses particularités ;
- 3<sup>o</sup> Le canon ou appareil de lancement.

## I. — LE PROJECTILE ET SES EFFETS

**Généralités.** — Autrefois le projectile portait le nom de *boulet* à cause de sa forme sphérique ; d'abord en pierre, puis en fer, il était plein et on le poussait dans le canon en l'entrant par l'avant qualifié pour ce motif *bouche* ; mais au préalable on

devait naturellement introduire la charge de poudre noire (ou gergousse) et on enflammait celle-ci au moyen d'une mèche logée dans un petit canal creusé dans la culasse et appelée *lumière*. Une notable amélioration a consisté ensuite à substituer à la sphère l'*obus* de forme allongée cylindro-conique; on a pu ainsi, pour le même poids, diminuer fortement la résistance que l'air oppose au mouvement et accroître la *portée* du tir, c'est-à-dire la distance à laquelle peut parvenir le projectile. Enfin, un grand progrès au point de vue des effets destructeurs a été obtenu lorsqu'on a remplacé le projectile plein, qui n'agit que par simple choc, par un obus creux rempli d'explosif mélangé ou non de balles; il a fallu alors munir le projectile d'un organe nouveau, la *fusée* destinée à provoquer l'éclatement au moment voulu.

Un corps de forme allongée : flèche, obus, doit, non seulement décrire sa trajectoire normale, mais encore rester à tout instant tangent à cette courbe, comme couché sur elle, de façon à conserver constamment sa pointe en avant; ceci est indispensable pour que la résistance de l'air soit réduite au minimum et, en outre, ne vienne pas troubler le mouvement en agissant dissymétriquement.

Dans le vide, le corps lancé bien axialement, conserverait de lui-même sa direction initiale, prenant par suite une inclinaison progressive relativement à la tangente à la trajectoire [figure 157 (a), (c)] et n'arriverait pas la pointe en avant. Comme il n'y aurait aucune résistance ambiante, le mouvement ne subirait aucune perturbation.

On peut utiliser précisément cette résistance de l'air pour obtenir sûrement la progression tangentielle cherchée; il suffit de munir le corps allongé d'un *empennage*, c'est-à-dire de sur-

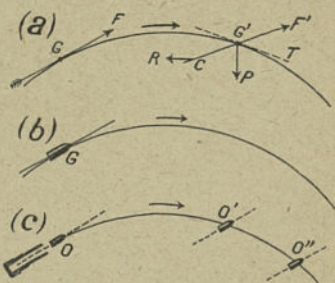


Fig. 157. — Progression d'un projectile dans le vide (a) (c), ou dans l'air b.



faces dirigeantes, planes ou autres, fixées à l'arrière de telle façon que le centre de gravité du mobile restant vers l'avant, ces plans coulissent en quelque sorte sur l'air comme support ; si alors, pour une cause quelconque, la flèche prend accidentellement une direction anormale telle que  $G' F'$  inclinée sur la tangente  $G' T$  [figure 157 (a)], la résistance  $R$  de l'air s'exerçant en un point  $C$  de l'empennage, tend immédiatement à ramener la flèche sur la courbe <sup>1</sup>. C'est de la même façon qu'agissent le gouvernail d'un bateau, les plans directeurs d'un avion, d'une torpille sous-marine et de certains projectiles lancés par les canons de tranchées (figure 158). Pour les obus, l'effet directeur et la stabilisation de la trajectoire sont obtenus simplement par la giration

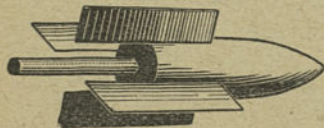


Fig. 158. — Projectile avec plans d'empennage.

du projectile autour de son axe de lancement ; on a remarqué en effet, depuis longtemps, qu'on améliore notablement la précision et la portée du tir en *rayant* l'âme du canon, c'est-à-dire en y creusant des

spires hélicoïdales très allongées ; dans ces conditions, le projectile, poussé le long de ces rainures, prend forcément le double mouvement d'une vis dans son écrou, c'est-à-dire une progression en avant et une rotation autour de son axe. L'expérience montre, en outre, que cette giration a aussi pour effet de produire dans le sens horizontal une légère *dérivation* dont il faut tenir compte dans le pointage *en direction*.

Pour réaliser cette giration, le pourtour de l'obus est, à quelque distance de la base, garni d'une *ceinture*, ou anneau en cuivre, métal résistant et plastique qui pénétrera dans les rayures de la pièce avec un léger forçement de façon à éviter les fuites (figure 158). Le plomb, employé autrefois, est trop mou, encrasse les rayures et est même susceptible de fondre.

1. Une règle d'écolier, lancée au hasard, avance dans l'espace d'une manière très complexe, en pirouettant sur elle-même. Il n'en est pas de même si elle est munie d'un empennage à l'arrière.

Bien entendu, le chargement ne peut avoir lieu que par la *culasse* du canon, ou arrière, qui doit alors être mobile.

Un autre procédé consisterait à supprimer la ceinture et à rayer d'avance le projectile en conformité avec les rainures du canon ; dans ces conditions, le forçement serait supprimé, d'où une meilleure utilisation de la pression motrice et puis le projectile mieux guidé, n'aurait plus de ballant nuisible dans l'air ; toutes ces causes augmenteraient la portée. La forme même de l'obus à l'arrière a aussi une grande importance, comme l'a établi le général Desaleux (balle D, etc.).

**Divers genres d'obus.** — Il y a plusieurs sortes d'obus selon les effets à produire : 1<sup>o</sup> celui dit *explosif* destiné à pénétrer d'abord dans un abri matériel puis à le désagréger par la déflagration d'un explosif intérieur ; 2<sup>o</sup> l'obus de *rupture* destiné à pratiquer une ouverture dans un revêtement, une plaque de blindage ; ces obus doivent posséder une ogive très résistante et être munis d'une fusée *percutante* avec retard convenable (fusée d'ogive, fusée de culot) ; 3<sup>o</sup> l'obus dit *schrapnell* qui doit s'ouvrir au bon moment, à une hauteur convenable au-dessus du sol, et projeter une gerbe de quelques centaines de balles grâce au fonctionnement d'une fusée spéciale dite *fusante*, ou *fusée à temps*. Donnons quelques indications sur ces dispositifs de déclenchement.

**Fusée.** — La fusée est le mécanisme qui détermine l'éclatement de l'obus. Organe d'une merveilleuse délicatesse qui, ayant en quelque sorte enregistré un ordre, l'exécute au moment voulu et met en liberté la puissance redoutable que l'obus renferme dans ses flancs.

1<sup>o</sup> **Fusée fusante ou à temps.** — Elle renferme un *concu-teur*, petite pièce métallique en forme de cylindre prolongé par une pointe à bords rudes appelé *rugueux* (voir la partie supérieure de la figure 159). Comme un piston dans un cylindre, le concuteur peut se déplacer dans un tube au fond duquel est déposée une amorce fulminante. Le concuteur et l'amorce sont maintenus à distance par un ressort léger dit *de sûreté* ayant pour but d'éviter des contacts et des éclatements prématurés pendant le maniement du projectile. Tout ce système est logé



à la partie supérieure de la fusée. Au moment où le coup part, le projectile est lancé en avant, ainsi que la fusée et le tube qui lui est fixé, le concuteur qui est libre tend à rester en place, en vertu de son inertie ; il recule donc relativement au tube qui avance, aplatit le ressort de sûreté et vient, par son rugueux, frapper l'amorce ; celle-ci détone et enflamme une rondelle de

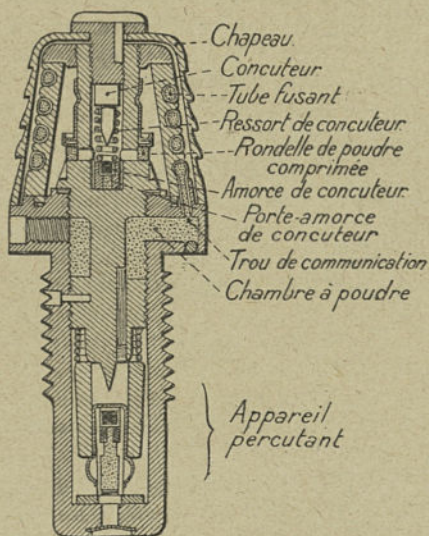


Fig. 159. — Fusée d'ogive à double effet.

poudre comprimée placée extérieurement au tube (qui est troué à ce niveau) ; l'espace environnant se remplit de gaz brûlants qui, entrant par un trou percé au bon endroit dans une enveloppe concentrique appelée *barillet*, mettent le feu à la matière inflammable d'un *tube fusant* enroulé en hélice, puis à la chambre à poudre et enfin à la charge intérieure du projectile. Si l'on suit sur la figure le chemin assez compliqué de l'inflammation progressive, on voit que l'explosion aura lieu au bout d'un temps calculable d'autant plus long que le *barillet* aura été



percé plus haut au moyen d'un instrument spécial appelé *pince-débouchoir* <sup>1</sup>.

Quant à la partie antérieure du tube fusant, elle brûle à rebours de l'autre portion utile et les gaz de la combustion se dégagent par un trou spécial ou *évent*, ménagé dans le barillet et le chapeau qui l'entoure <sup>2</sup>.

**2° Fusée percutante.** — Dans cette fusée c'est encore l'inertie qui entre en jeu mais, cette fois, c'est le rugueux qui est fixe tandis que le porte-amorce est mobile à condition que le système soit *armé*, c'est-à-dire soit prêt à subir les effets d'un choc. L'armement s'opère comme le montre la figure 160, *a*, dans le corps de fusée nous trouvons le *porte-amorce* maintenu à distance du rugueux par une sorte de bague métallique mobile appelée *masselotte*. Quand le coup part, la masselotte est projetée en arrière, elle aplatit les rebords d'une lame de laiton appelée *ressort d'armement* et vient coiffer le porte-amorce (fig. 160, *b*). Dans cette position le rugueux est toujours maintenu à distance du fulminate par le *ressort de sûreté* qui s'est détendu : la fusée est *armée* <sup>3</sup>. L'obus vient-il à choquer quelque obstacle, il en résulte un ralentissement de son mouvement et la masselotte (avec son contenu) qui est libre vient, en vertu de l'inertie, précipiter son porte-amorce sur le rugueux (figure *c*) et détermine l'explosion. La figure représente l'ensemble d'une fusée à double effet, donc à la fois percutante et fusante. Les obus dits « shrapnells » portent toujours cette fusée double afin que, si l'un des dispositifs a manqué d'agir, l'autre entre en jeu nécessairement.

**Disposition et charge de l'obus, ses effets.** — Le *shrapnell* se compose d'une enveloppe cylindrique en acier sur

1. La vitesse de combustion dans la matière du tube fusant est d'environ 13 millimètres par seconde.

2. Le *chapeau* est en métal mou, alliage de plomb, d'étain et d'antimoine. Il est facile de le perforer pour atteindre le tube fusant qu'il recouvre.

3. Comme ce ressort de sûreté est très flexible et qu'il suffit que l'obus tombe de 1 ou 2 décimètres pour vaincre sa résistance, on voit quel danger mortel il y aurait à manier sans précaution un obus qui, pour une cause quelconque, n'aurait pas fonctionné.

laquelle l'ogive est fixée suivant un pas de vis AB (fig. 461)

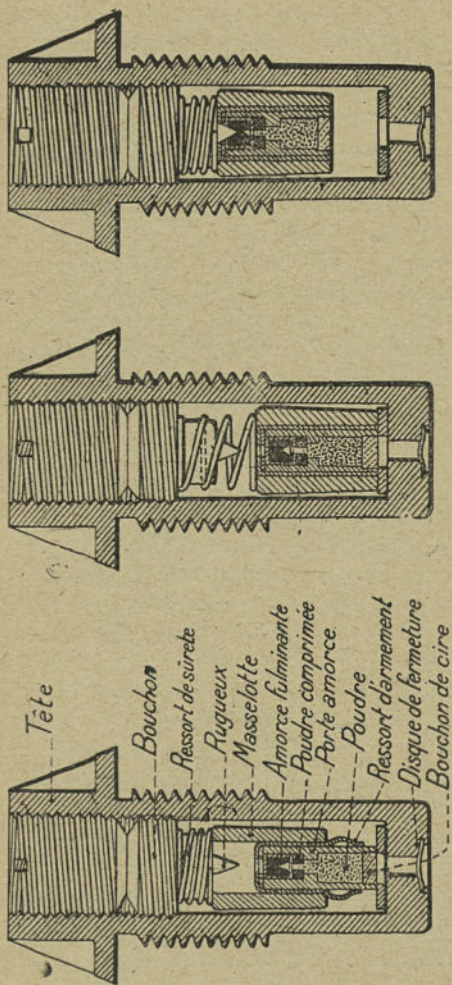


Fig. 160. — Fusée d'ogive dite percutante; a, avant départ; b, après départ; c, à l'arrivée.

nié<sup>1</sup> noyées dans une charge de poudre noire. Un tube central en laiton descend axialement depuis la fusée jusqu'au culot au niveau duquel il est perforé d'un certain nombre de trous ou *évents* ; une mèche fusante est renfermée dans ce tube et lorsqu'elle brûle, elle projette par les événements des gaz chauds qui enflamment les 500 grammes de poudre noire, d'où un dégagement de chaleur et production d'une pression qui dilatent l'enveloppe relativement mince de l'obus : le pas de vis cède,

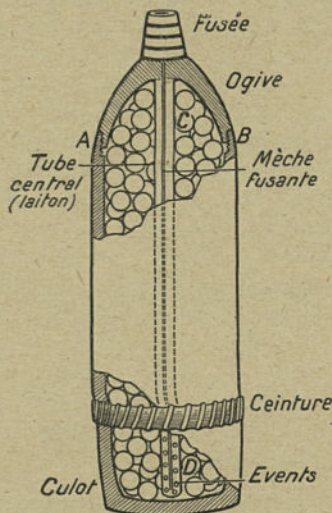


Fig. 161. — Obus dit Schrapnell.

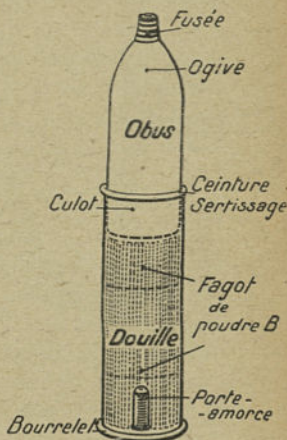


Fig. 162. — Obus et sa douille.

l'ogive se détache et les balles sont lancées en avant en formant une gerbe meurtrière dont la vitesse est d'une centaine de mètres plus élevée que celle de l'obus lui-même au moment de son ouverture. La fumée produite par le schrapnell lorsqu'il s'ouvre aide à rectifier le tir si besoin est.

L'obus explosif est représenté en coupe figure 163 ; ses parois

1. L'adjonction d'antimoine au plomb raffermi ce dernier métal et l'empêche de s'écraser par le choc brusque dû au départ.



sont plus épaisses que celles du précédent et renferment environ 800 grammes d'un explosif brisant constitué par un mélange

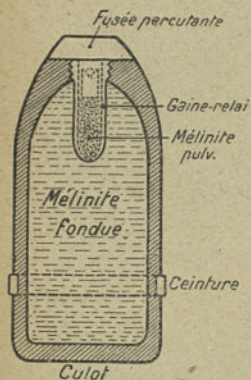


Fig. 163. — Obus avec sa charge intérieure d'explosif.

de phénols trinitrés désigné sous l'appellation générale de mélinite<sup>1</sup>. Un explosif extra-sensible et brisant comme le fulminate pulvériserait en quelque sorte l'enveloppe et il n'y aurait plus d'éclats meurtriers projetés au loin ; et puis, un tel obus éclaterait dans le canon même au départ du coup. La mélinite fondue, au contraire, est peu sensible au choc, qualité nécessaire ; aussi, pour la faire détoner, faut-il adjoindre à la fusée ce que l'on appelle une *gaine-relai* renfermant une petite quantité de mélinite pulvérulente, plus sensible que la variété fondue et qui, par le choc brusque de la haute pression qu'elle produit, provoque la déflagration de toute la charge. Il en résulte en outre un petit retard sur le fonctionnement de la fusée, ce qui est utile lorsque l'on ne veut produire l'éclatement de l'obus qu'après *ricochet* ou après *pénétration* dans le sol ou un abri.

L'obus explosif du calibre de 75 (diamètre en mm.) projette ainsi environ

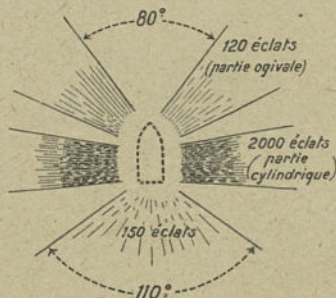


Fig. 164. — Répartition des éclats d'un obus de 75.

1. La *mélinite* proprement dite est le trinitrophenol, ou *acide picrique*, qui a subi le phénomène de fusion vers  $112^{\circ}$  et a été resolidifié par refroidissement. La *crésylite* est le dérivé nitré analogue issu du *crésol*, ou *crésylol*, qui est le méthylphenol. La charge intérieure de l'obus est  $\frac{2}{5}$  de mélinite fondue et  $\frac{3}{5}$  de crésylite comprimée.

2000 éclats à la vitesse de 1500 mètres seconde et répartis surtout latéralement comme le montre la figure.

L'effet de ricochet s'obtient lorsque l'angle de chute, c'est-à-dire celui que fait le dernier élément de trajectoire avec le sol, est voisin d'une dizaine de degrés au plus (figure 165); le projectile éclate ensuite à 2 mètres de hauteur environ grâce à ce que la fusée est à *amorçage*

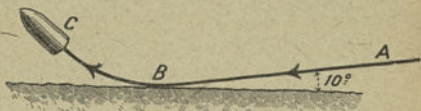


Fig. 165. — Effet de ricochet puis explosion.

que la fusée est à *amorçage*

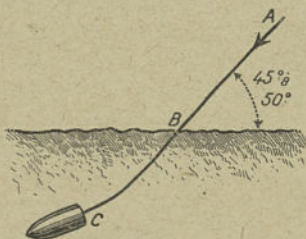


Fig. 166. — Effet de pénétration dans le sol.

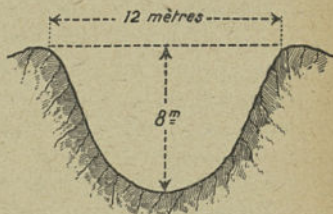


Fig. 167. — Entonnoir dans le sol.

retardé d'environ 0,05 seconde. — Un angle de chute très grand, voisin de 45° à 50°, a pour effet de permettre au projectile de s'enfoncer plus ou moins profondément dans le sol (figure 166) où il éclate alors en produisant des effets variés selon l'amorçage plus ou moins retardé de la fusée; *entonnoirs* (figure 167), à pentes plus ou moins abruptes (retard de la fusée 0s,01

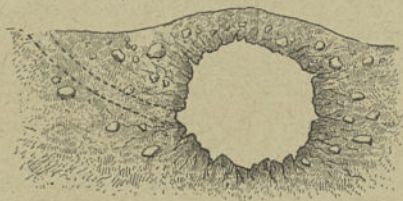


Fig. 168. — Camouflet dans le sol.

IRIS - LILLIAD - Université Lille

à 0<sup>s</sup>,02<sup>1</sup>) excavations internes, camoufflets (figure 168), etc.

L'obus de *rupture* a une ogive en acier chromé très dur ; la fusée est à l'arrière (fusée de culot) ou même en dedans.

**Lancement de l'obus ; effets spéciaux des explosifs.** — Le lancement de l'obus est déterminé dans le canon par la déflagration de deux fagots de lanières de poudre pyroxylée, dite poudre B, contenus dans une *douille* en laiton embouti sortie sur le culot de l'obus (la douille porte à sa base un bourrelet destiné à faciliter l'action de l'*extracteur*, une fois le coup parti, pour l'expulsion de l'étui vide). L'ensemble de la douille et de l'obus forme un tout de forme très allongée désigné sous le nom de *cartouche* et rappelant, aux dimensions près, celle des fusils à percussion centrale (figure 162). A la base de la douille est placé le tube *porté-amorce* qui contient le fulminate de mercure destiné à détoner sous le choc du *percuteur* du canon ; mais ce fulminate serait incapable de provoquer, par lui-même, la déflagration des 700 grammes de poudre B. aussi interpose-t-on entre les deux substances une petite charge de poudre noire dite *couvre-amorce* qui, très aisément combustible, produira rapidement la pression élevée et la température capable de déclencher l'inflammation de la poudre pyroxylée B. S. P.

Cette poudre a pour propriété caractéristique d'être *progressive*, non brisante, c'est-à-dire que la durée de sa combustion peut être amenée à égaler exactement le temps nécessaire au projectile pour parcourir l'âme du canon. Dans ces conditions, la force propulsive est utilisée au mieux sans être dangereuse pour le canon ; le contraire aurait lieu si, la combustion étant presque instantanée, une pression exagérée venait à se produire avant que l'obus ait eu le temps de se déplacer d'une façon sensible. On peut avec une telle poudre dont les effets sont calculables *a priori*, obtenir une vitesse initiale plus élevée, en augmentant la charge de la douille, sans craindre l'éclatement de l'arme. Par surcroît, cette poudre ne produit presque pas de fumée visible, d'où le nom de *poudre sans fumée* qu'on lui

1. La fusée est dite alors *sans retard*, selon l'expression consacrée ; elle est dénommée *instantanée* quand le retard est au plus égal à 0<sup>s</sup>,01.



donne communément mais qui n'exprime pas sa propriété essentielle. Comme on le voit, le mode d'action, les effets d'un explosif dépendent non seulement de sa *puissance* balistique exprimée par la quantité d'énergie mécanique qu'il peut mettre en jeu, mais encore de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle cette énergie est dépensée, c'est-à-dire de la *vitesse d'explosion*, laquelle peut varier dans de larges limites selon le mode de préparation de la substance. Il y a lieu aussi de tenir compte de la *facilité d'amorçage* qui dépend de l'instabilité moléculaire du système chimique considéré.

Une fois la rupture d'équilibre déclanchée, il y a production d'une pression considérable qui se chiffre par milliers d'atmosphères, le projectile est refoulé, les gaz de la poudre effectuent un travail mécanique qui se transforme en force vive, ou énergie cinétique, communiquée au projectile et évaluable numériquement par le produit  $1/2 MV^2$  dans lequel M est la masse mise en mouvement et V la vitesse qui lui est communiquée (Voir antérieurement : fonctionnement des machines-outils); sous ce rapport, il n'y a pas de très grandes différences entre les divers explosifs mais la vitesse d'explosion peut varier dans d'énormes limites et est la cause d'effets très différents. Prenons par exemple une cartouche de dynamite et enflammons-la avec une allumette; la température d'inflammation est de 200° environ, la combustion est *progressive*, la puissance développée se dépense d'une façon relativement lente, la cartouche brûle sans bruit et sans causer aucun dommage. Si, au contraire, une cartouche identique est munie d'un *dispositif d'amorçage* qui provoque la décomposition quasi instantanée de la dynamite, les effets disruptifs sont tellement intenses qu'une matière quelconque même très résistante, comme un rail, placée dans le voisinage immédiat, est brisée et désagrégée (fig. 169).

La poudre noire, anciennement employée au chargement des canons, brûle, non pas instantanément, mais dans un temps encore trop court, tel que le projectile n'a pas pu se déplacer tant soit peu: il en résulte la production momentanée d'une pression très élevée qui fatigue le canon et qui baisse ensuite assez rapidement au fur et à mesure que l'obus progresse.

L'amorçage présente des particularités curieuses. Certains explosifs ont une si grande mobilité moléculaire que le moindre frolement détermine la rupture de leur équilibre instable ; c'est ce qui a lieu pour le fulminate, pour l'iodure d'azote, etc. De tels corps peuvent, en petite quantité, servir d'amorces.

L'acide picrique en poudre renferme beaucoup d'énergie à l'état latent mais il est bien moins sensible que les corps précé-

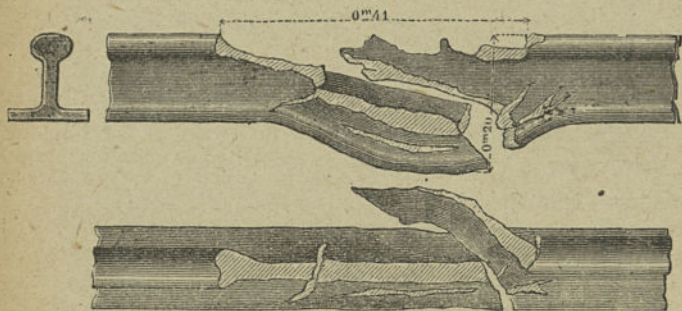


Fig. 169. — Rupture d'un rail par l'explosion de 100 grammes de dynamite, sous forme d'un pétard placé contre.

dents et peut être manié commodément. Il détone seulement sous l'action du fulminate.

Quant à l'acide picrique fondu et resolidifié par refroidissement (mélinite) on peut le frapper à tours de bras avec un marteau sans l'émouvoir : il ne se met en branle que par l'action du même corps pulvérulent, déclenché lui-même par le fulminate. Des exemples analogues sont fournis par les autres explosifs nitrés. Un intermédiaire, comme l'acide picrique en poudre, peut être qualifié de *relai* d'amorçage, ou simplement de *relai*. (Voir la gaine-relai de l'obus explosif, fig. 163).

**Notions sur la fabrication des obus.** — a) Par forage. Les obus de 75 sont tirés directement d'une barre d'acier demi-dur de 82 mm. de diamètre que l'on tronçonne d'abord en lopins de longueur convenable ; ceux-ci sont ensuite forés, puis travaillés extérieurement au tour à chariotier.

b) Par *emboutissage*. Un second procédé tout différent supprime le forage; il consiste à travailler l'acier au rouge par emboutissage, forgeage et étampage, savoir :

1<sup>o</sup> Emboutissage. — Un bloc d'acier court et large est chauffé à la température du rouge cerise et déposé au fond d'une cavité cylindrique en acier (fig. 170). Sous l'action d'une presse, un *poinçon* d'acier descend axialement, pénètre dans le métal plastique, le refoule latéralement et lui donne la forme et les dimensions intérieures, comme le montre la partie droite de la figure.

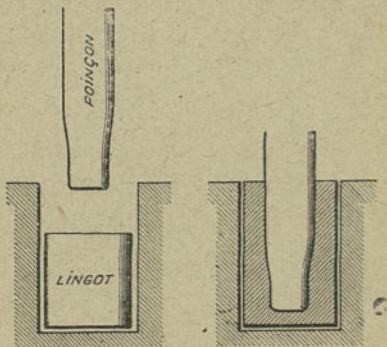


Fig. 170. — Fabrication d'un obus par emboutissage; le poinçon pénètre dans le lingot d'acier chauffé au rouge.

2<sup>o</sup> Ogivage. — L'opération précédente fournit un cylindre fermé à la partie inférieure et ouvert à l'autre extrémité; pour donner à celle-ci la forme ogivale qu'elle doit avoir on commence par la porter à la température d'environ 1000° en l'introduisant dans l'une des alvéoles d'un four spécial analogue à celui que représente la figure.

Quand l'extrémité est chaude à point, on l'amène à la forme voulue par l'emploi de divers dispositifs, soit d'un seul coup par étampage (fig. 172), soit par passes successives d'emboutissage (fig. 173).

3<sup>o</sup> Trempe. — Par immersion totale dans un bain froid.

4<sup>o</sup> Recuit. — Pour rendre à l'acier la douceur nécessaire tant pour le travail ultérieur qu'au point de vue d'une résistance déterminée à l'explosif qu'il recevra. Cette opération s'effectue dans un *four à recuire*, représenté figure 171 et le degré de douceur ou de ductilité obtenue est vérifié ultérieu-



rement par la grandeur d'une empreinte mesurable qu'y laisse

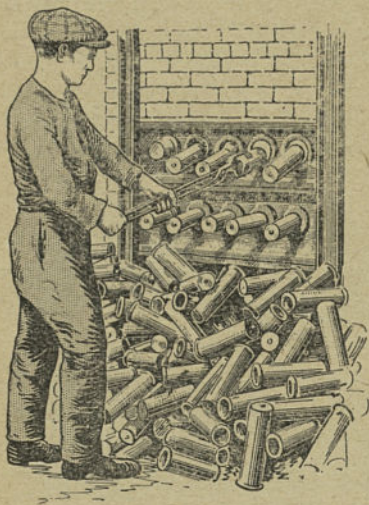


Fig. 171. — Four pour chauffer l'extrémité des obus, en vue de l'ogivage.

une bille d'acier pressée pendant dix secondes avec une force de 3.000 kilogrammes (appareil à bille).

5° Ébauche de la lumière, ou orifice de l'ogive, et sa mise aux dimensions voulues pour y recevoir la fusée.

6° Tournage et rectification de l'ogive et du culot à la meule émeri.

7° Filetage de la lumière au moyen d'une sorte de molette qui creuse les filets d'un seul coup.

8° Creusage de la rigole circulaire devant servir de logement à la ceinture de

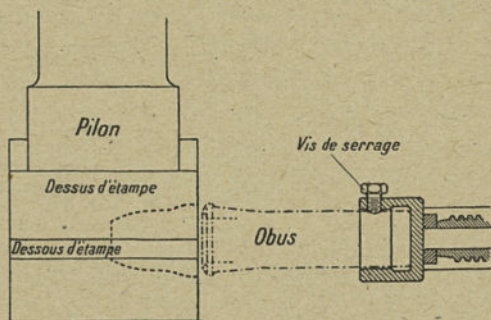


Fig. 172. — Pilon pour ogiver l'extrémité de l'obus rougi au feu.

cuire et striage de cette cavité avec des molettes spéciales

pour empêcher cette ceinture de se détacher quand elle forcera dans les rainures hélicoïdales de l'âme du canon.

9<sup>o</sup> Essai de résistance des parois à la presse hydraulique ; il ne doit se produire ni fuites, ni criques, ni gonflement excessif de l'obus rempli d'eau et soumis à une pression d'environ 1.500 kg. cm<sup>2</sup>.

10<sup>o</sup> Ceinturage à la presse, c'est-à-dire application de la ceinture et tournage de celle-ci à la dimension exacte.

11<sup>o</sup> Vérification des épaisseurs et des courbes de profil au moyen d'instruments très précis de contrôle appelés *calibres*. On n'admet qu'une tolérance très faible.

Viennent ensuite plusieurs autres vérifications accessoires et enfin la pose de la fusée.

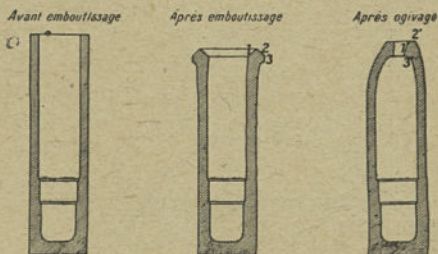


Fig. 173. — Phases successives de l'ogivage par emboutissage.

## II. — LA TRAJECTOIRE

On appelle *trajectoire* la ligne courbe — ou trajet — suivie par le centre de gravité du corps lancé dans l'espace. Cette courbe est, en principe, contenue dans un plan vertical appelé *plan de tir* qui passe à la fois par le plan d'arrivée — ou *but* — et par le point de départ. Mais en fait, par suite de la résistance de l'air et du mouvement de rotation du projectile sur lui-même, l'obus tend à s'écarter un peu du plan précédent d'un angle appelé *dérive* ; on a remarqué que ce phénomène, désigné sous le nom de *dérivation*, se produit dans le sens du mouvement de rotation de la partie supérieure du projectile, soit à droite du tireur pour celles des pièces où l'on voit (et

c'est la grande majorité) les rayures s'éloignent en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

Si le tir s'effectuait dans le vide, la trajectoire serait une courbe très régulière étudiée en géométrie sous le nom de *parabole* : c'est la ligne OSCD indiquée en pointillé sur la

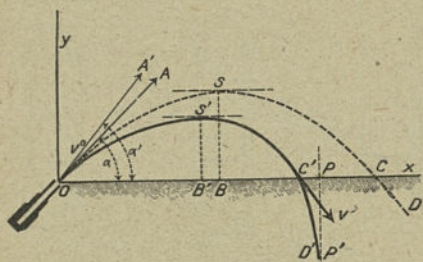


Fig. 174. — Trajectoire théorique dans le vide et trajectoire réelle dans l'air.

figure 174 ; l'arme ayant son axe dirigé suivant la ligne OA faisant avec l'horizon OX l'angle  $\alpha$ , le projectile soumis à l'influence simultanée de sa vitesse initiale  $V_0$  et de la pesanteur, monterait d'abord suivant l'arc OS, atteindrait son

point culminant, ou sommet S de la trajectoire, puis redescendrait suivant la branche SC et atteindrait le sol au point C, dit *point de chute*. La distance OC comprise entre le point de départ et le point d'arrivée est ce qu'on appelle la *portée* du projectile, ou encore *amplitude du jet*. En frappant le but au point C, le projectile posséderait une vitesse  $v'$  appelée *vitesse restante*.

En réalité, par suite de la résistance de l'air qui est approximativement proportionnelle au carré de la vitesse à chaque instant, la portée est considérablement réduite et la courbe effective est tout entière contenue à l'intérieur de la parabole fictive précédente ; cette trajectoire réelle affecte une forme OS'C'D' (fig. 174) ; elle se confond d'abord presque exactement avec la parabole puis s'en écarte de plus en plus en restant toujours au dessous, atteint un sommet S' plus bas et moins lointain que celui S précédent et enfin descend suivant une branche S'C'D' qui se rapprocherait de plus en plus d'une verticale PP' appelée *asymptote* si l'on imaginait que le sol n'existe pas. Il en résulte que le point de chute C' est moins lointain que C



et que la portée réelle  $OC'$  est plus faible que celle  $OC$  qui se rapporte à la parabole fictive. De même la *flèche*, ou hauteur maxima réelle  $S'B'$  est amoindrie.

Il y a un autre phénomène qui se produit au départ. Au moment où le projectile sort du canon, il éprouve un relèvement en hauteur et suit une ligne  $OA'$  un peu au-dessus de l'axe  $OA$  de la pièce. On appelle alors *ligne de projection* la direction  $OA'$  suivie effectivement par le projectile au moment de sa sortie et *angle de projection* l'angle  $A'OX$  que fait la direction  $OA'$  avec l'horizontale  $OX$ ; et enfin *angle de relèvement* l'angle  $A'OA$  des deux directions précédentes, c'est à-dire l'angle de la direction effective du mouvement initial avec l'axe de la pièce.

Les explications précédentes se rapportent à ce qui se passe au moment du départ du coup; voyons maintenant ce qui concerne l'arrivée. En général, le but ou point de visée n'est

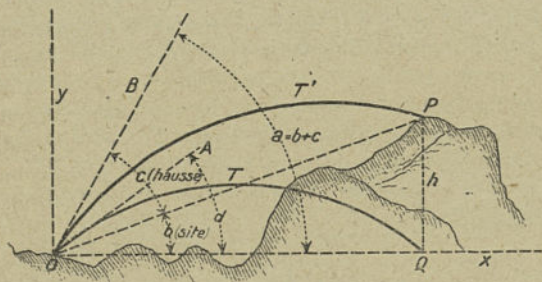


Fig. 175. — Tir en hauteur; hypothèse de la rigidité de la trajectoire; angle de site et hausse.

pas exactement au même niveau que le point de départ. Soit (fig. 175) le point  $P$ , but à atteindre situé à une hauteur, ou altitude,  $PQ = h$  au-dessus de l'horizontale  $OX$  du point de départ  $O$  (bouche de la pièce). Pour atteindre le pied  $Q$  de la verticale du point visé  $P$ , il faudrait faire décrire à l'obus la trajectoire  $OTQ$ , faisant initialement avec l'horizon l'angle  $AOX = d$ . Pour toucher le point  $P$ , il faudra tirer suivant une direction initiale  $OB$ , c'est-à-dire sous un angle  $BOX = a$  plus

grand que AOX ; le projectile suivra alors la courbe OT'P. Or, le calcul montre et l'expérience vérifie que l'angle BOP, ou C, est égal à l'angle AOX, ou d et que la courbe OT'P est sensiblement la même que la première OTQ qu'on aurait fait tourner, comme un fil de fer rigide, de la position inférieure à la position supérieure.

C'est ce qu'on appelle l'*hypothèse de la rigidité de la trajectoire* ; elle est pratiquement vérifiée pour tous les angles de tir assez faibles, au plus égaux à une dizaine de degrés. Pour les angles supérieurs, l'emploi de tables spéciales, dites balistiques, est nécessaire.

L'angle POQ, ou b, est désigné en artillerie sous le nom d'*angle de site* ; c'est l'angle du rayon visuel dirigé vers le but avec l'horizon ; il est positif si, ce qui a lieu généralement, le but P est plus élevé que la bouche O ; il est négatif dans le cas contraire. Pour pouvoir atteindre le but P, il faut incliner l'axe de la pièce, par rapport à la ligne de visée OP, d'un angle BOP, ou C, donc hausser la bouche de la pièce relativement à la culasse ; aussi est-ce ce qu'on appelle donner à la pièce la hausse correspondante à la distance OP sensiblement égale à sa projection horizontale OQ : appelons donc cet angle C angle de hausse, ou angle de tir selon la distance. Enfin l'angle total BOX, ou a, est l'*angle de projection* ; il est la somme des deux précédents et nous écrivons :

$$a = b + C.$$

On peut encore dire que a est angle total de tir avec l'horizon.

En résumé, pour atteindre le but, il suffit de connaître trois données : 1<sup>o</sup> le plan de tir, ou *direction* ; 2<sup>o</sup> l'angle de *site* POQ ; 3<sup>o</sup> la distance OP qui détermine la *hausse* à donner à la pièce.

Avant d'aller plus loin, voici quelques exemples numériques destinés à confirmer la vitesse pratique de l'hypothèse de la rigidité de la trajectoire ; nous ferons évidemment, dans ce calcul, abstraction de la résistance de l'air et, par conséquent, nous supposerons la trajectoire parabolique.

1 <sup>er</sup> exemple. } Données	{	Hauteur du but . . . . .	PQ ou h = 30 mètres.
		Distance du but . . . . .	OQ = 3000 —
		Vitesse initiale (départ) . . . . .	V <sub>0</sub> = 500 —

On trouve par le calcul <sup>1</sup> les résultats suivants :

Angle de site . . . . .	b = 0radian,010 = 10 millièmes <sup>2</sup> ;
Angle de projection . . . . .	a = 0,070 = 70 —
d'où . . . . .	C = a - b = 0,060 = 60 —

D'autre part, le calcul <sup>3</sup> montre encore que, pour atteindre non plus le point P mais le pied Q situé sur la verticale de P et horizontalement au même niveau que O, il faudrait tirer sous un angle AOX ou d = 0,060 ou 60 millièmes ; par conséquent, on a bien C = d.

2 <sup>e</sup> exemple. } Données	{	PQ = 400 m.
		OQ = 2000 m.
		V <sub>0</sub> = 500 m.

On trouve par le calcul : a = 90 millièmes, b = 50 mill., donc c = a - b = 40 mill. ; or le calcul donne d = 40 millièmes. Par conséquent, on a bien encore C = d.

1. Ce calcul indique que l'abscisse x et l'ordonnée y du point occupé à l'instant t par le projectile satisfont aux relations suivantes :  $x = v_0 t \cos a$  et  $y = v_0 t \sin a - \frac{1}{2} g t^2$ . Dans ces formules, g est l'accélération gravifique, c'est-à-dire due à la pesanteur [à Paris  $g = 9^m,81$ ]. On déduit de ce qui précède la relation entre x et y qui est l'équation de la trajectoire (dans le vide), savoir :

$$y = x \operatorname{tg} a - \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 a}$$

2. La trigonométrie fournit la relation  $\operatorname{tg} b = \frac{PQ}{OQ} = \frac{30}{3000} = \frac{1}{100}$ , d'où, vu la faiblesse des angles qui permet de confondre ceux-ci avec leurs tangentes,  $b = \frac{1}{100}$  de radian. En artillerie on adopte une unité dérivée de la précédente et appelée millième de radian, ou simplement *millième* ; on a alors = 0radian,01 = 10 millièmes. On peut dire que le *millième* est l'angle sous lequel on voit 1 m. à 1000 m.

3. On trouve par le calcul : a = 90 millièmes ;

$$b = 50 \quad --$$

$$\text{donc : } c = a - b = 40 \quad --$$

Or le calcul donne : d = 40 —



*Résumons.* P étant le but à atteindre situé à une hauteur PQ au-dessus de l'horizontale du point de départ, il faut tirer suivant l'angle de projection, ou angle total de tir BOX, ou  $a$ .

Si l'on voulait atteindre le point Q pied de la verticale de P, il faudrait tirer suivant l'angle  $d$  et la trajectoire OTQ. Eh bien, pour atteindre P, il suffira de donner d'abord à la pièce une inclinaison  $b$  égale à l'angle de site, ce qui tient compte de l'altitude du but, c'est-à-dire de sa hauteur, puis d'augmenter encore cette inclinaison d'un angle C, ou hausse, qui est fonction de la distance du but et qui est le même que si celui-ci était au même niveau que la pièce, ce qu'exprime l'égalité  $C = d$ .

*Divers genres de trajectoires.* Un point quelconque P de l'espace (fig. 176) peut être atteint de deux manières par un

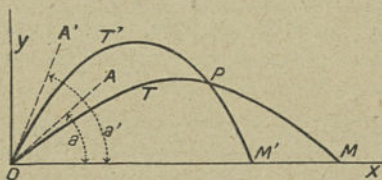


Fig. 176. — Tir tendu et tir courbe : les deux trajectoires qui atteignent un même point.

projectile lancé d'un point O, soit par une trajectoire OTP faisant au départ un angle  $a$  avec l'horizon, soit par une deuxième courbe OT'P faisant l'angle  $a'$  plus grand que  $a$ . La trajectoire OTP la moins inclinée sur l'horizon est aussi la moins courbée, celle qui s'éloigne le moins de la ligne droite ; elle se rapporte à ce qu'on appelle le *tir tendu* ou de plein fouet. L'autre parabole OT'P beaucoup plus courbée, se rapporte au *tir courbe*.

Le calcul et l'expérience montrent que la portée maximum OM du tir est obtenue quand l'angle de tir a vaut la moitié d'un angle droit, soit  $45^\circ$ .

Mais, en général, un même canon ne peut être agencé pour fonctionner à la fois en tir tendu et en tir courbe ; aussi construit-on des canons différents selon leur fonction. Ceux qui tirent sous de faibles angles sont les *canons* proprement dits, leur longueur est relativement grande, soit 30 à 50 calibres (le *calibre* est le diamètre de la bouche ou de l'obus) ; la trajec-

toire OAM est tendue (fig. 177). Les pièces tirant sous des angles dépassant une trentaine de degrés sont plus courtes et prennent le nom d'*obusiers* ; la trajectoire OBM s'élève plus haut, est plus courbée et permet d'atteindre un objectif M qui serait abrité derrière un obstacle K (*tir courbe*). Enfin les pièces tirant sous des angles encore plus considérables sont encore plus courtes et s'appellent des *mortiers* ;

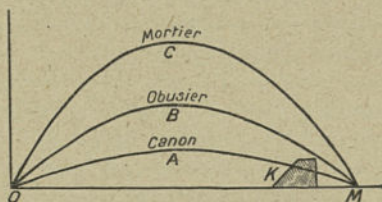


Fig. 177. — Trajectoires usuelles correspondant aux diverses pièces.

la trajectoire OCA s'élève très haut, est très courbée et le projectile tombe presque verticalement en produisant des effets d'écrasement sur des abris blindés (*tir vertical*).

*Déviations diverses : relèvement et dérivation.* Il ne faudrait pas croire que le

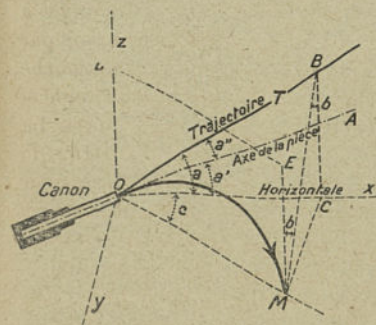


Fig. 178. — Déviations diverses de la trajectoire : relèvement et dérivation.

projectile suive et conserve docilement la direction que le canon tend à lui communiquer initialement. Au départ il commence par prendre une direction OT (fig. 178) faisant avec le prolongement OA de l'axe de la pièce un angle  $a''$  que l'on appelle l'*angle de relèvement*.

Cet angle est donc celui que fait la trajectoire avec l'axe de la pièce ; il varie très peu avec l'angle de tir  $a'$  et est dû, entre autres causes, aux déformations élastiques qui, au moment de la poussée des gaz de la poudre, se produisent dans l'affût et dans la plateforme qui le

supporte. L'angle de projection total  $a$  est ainsi la somme de l'angle de tir  $a'$  et de l'angle de relèvement  $a''$ .

Ensuite, le projectile, une fois lancé dans l'espace et par le fait même de sa rotation, s'écarte progressivement du plan vertical BOX primitif d'un angle appelé *dérive*, le phénomène prenant le nom de *dérivation*. Cette dérivaton en azimut prend dans le tir courbe une valeur considérable qui croît avec la portée suivant une loi très simple découverte par le lieutenant Bourdelles. Supposons l'angle de site nul et le projectile rayé à droite (voir antérieurement), la dérivaton aura alors lieu à droite et on aura un point de chute en M (fig. 178). L'angle de tir étant  $a$ , la dérive  $c$ , et  $b$  étant l'angle que fait avec la verticale le plan passant par l'axe de la pièce et par le point de chute, l'expérience montre que le rapport  $\frac{MC}{BC}$  (ou Tang  $b$  en

trigonométrie) est *pratiquement constant* pour une pièce déterminée, quels que soient l'angle de tir et la charge. Il revient au même de dire, comme le montre un calcul facile, que le rapport  $\frac{\sin c}{\text{tang } a}$  est constant ; telle est la loi de Bourdelles ;

autrement dit, le plan OBM, dit de *dérivation*, fait un angle constant  $b$  avec la verticale. Il en est sensiblement de même si l'angle de site n'est pas nul sans être trop grand et alors on peut corriger automatiquement la dérivaton en dirigeant ce plan sur le but, ce plan étant matérialisé par les organes de repérage appropriés dont en particulier le *collimateur*. Le tir tendu ou de plein fouet est en général celui qui est réservé aux pièces à grande vitesse initiale, donc à forte charge de poudre, tandis qu'il est admis que les tirs courbes ou verticaux sont faits uniquement avec les pièces à faible vitesse et à petite charge : obusiers et mortiers.

Cependant aucun principe ne s'oppose à faire fonctionner un canon sous tel angle que l'on désire et à faire du tir courbe avec une pièce à grande vitesse initiale, donc à forte charge de poudre ; c'est justement ce qu'ont fait les Allemands en diverses circonstances, d'abord pour bombarder Dunkerque en 1915 à une quarantaine de kilomètres de distance avec une pièce de



marine de 380 millimètres qu'ils avaient installée à terre sur un affût spécial et qu'ils faisaient tirer sous un angle voisin de  $45^{\circ}$ . Ce procédé possède l'avantage primordial d'affaiblir l'action résistante de l'air qui est considérable et, en s'engageant dans cette voie, nos ennemis arrivèrent logiquement à concevoir et exécuter les canons monstres ou *supercanons* avec lesquels ils bombardèrent Paris en 1918. En effet, à vitesse égale du projectile, celui-ci subit une résistance aérienne qui est d'autant plus faible que le poids spécifique de l'air est lui-même plus petit ; or ce dernier est réduit au tiers de sa valeur à l'altitude de l'Himalaya, au  $1/10$  à 18.500 mètres<sup>1</sup> et à une fraction insignifiante à 30 kilomètres de hauteur. On voit donc qu'en lançant un projectile sous un grand angle, avec une grande vitesse, il sortira rapidement des couches atmosphériques basses où la résistance est considérable et qu'il fera la plus grande partie de son trajet dans un air tellement raréfié que la trajectoire et la portée sont très rapprochées de ce qu'elles seraient dans le vide. En particulier la courbe suivie n'aura plus la forme comprimée et asymptotique OS'C'D' de la figure, mais une disposition presque symétrique dans ses deux branches ascendante et descendante, par rapport au sommet.

Nous avons déjà dit que la portée maxima correspond à un angle de tir de  $45^{\circ}$  dans le vide ; en fait il serait d'environ  $43^{\circ}$  à cause de l'angle de relèvement. Mais, dans le cas qui nous occupe ici, il est évident qu'il y a intérêt à faire mouvoir le projectile le plus longtemps possible dans les couches supérieures raréfiées, donc à accroître l'angle de tir qui était effectivement de  $55^{\circ}$  environ dans les supercanons et alors l'angle de chute n'en différerait pas beaucoup, environ  $60^{\circ}$ , comme cela a été constaté en divers points de chute. La vitesse initiale de ce projectile devait être voisine de 1400 m. sec., la portée étant de 110 à 120 kilomètres, avec une vitesse restante de 600 à 700 mètres. Il est évident que l'on peut envisager des vitesses

1. Le poids du litre d'air diminue dans les proportions suivantes : à 5600 mètres de hauteur il est réduit à la moitié, à 8900 mètres au tiers, à 11200 mètres au quart, à 12900 mètres au cinquième, à 18500 mètres au dixième, etc.

et des portées encore plus grandes : c'est une question de résistance du métal du canon ; mais alors le projectile doit avoir ses

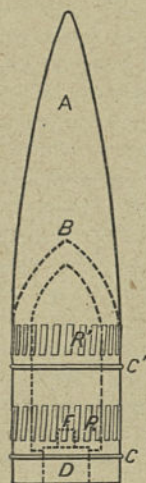


Fig. 179. — Obus rayé, à fusée de culot et à coiffe en tôle.

parois assez épaisses pour pouvoir supporter sans se briser dans l'âme la pression des gaz de la poudre, aussi sa charge intérieure d'explosif était-elle relativement faible. Une autre caractéristique de ce projectile était l'application d'un procédé dont nous avons parlé antérieurement : la rayure du projectile faite d'avance en conformité avec celle de l'âme du canon. (Voir : I le projectile et ses effets, à la fin des généralités). Mais à côté des avantages que nous avons signalés il y a lieu peut-être d'indiquer quelques inconvénients possibles : usure plus rapide des rayures de l'âme par le frottement d'un métal dur, dangers de blocage de l'obus dans les rayures détériorées et, par suite, d'éclatement de la pièce. La figure 179 donne une idée de l'obus en question ; on voit en RR' les rayures préalables creusées sur le corps même, en C et C' deux ceintures de cuivre, en F et D

la fusée de culot et le détonateur, en B l'ogive, en A une coiffe en tôle réduisant encore la résistance de l'air<sup>1</sup>.

**Dispersion et probabilité du tir.** — En principe, lorsqu'une pièce a été parfaitement pointée en direction, site et hausse et qu'elle est munie des dispositifs, frein et récupérateur, de retour rigoureux à la même position de tir, il n'y a pas de raison théorique qui s'oppose à ce que chaque coup tiré successivement ne corresponde pas à un point de chute ou d'impact invariable.

1. Signalons d'autres modes de lancement des obus proposés par divers inventeurs : adjonction d'une fusée propulsive à l'arrière, d'une fusée dégageant des gaz chauds tout autour pour diminuer le frottement de l'air (procédé Chilowski), impulsion par un système d'électro-aimants échelonnés, etc.



En fait, les points de chute s'éparpillent plus ou moins mais restent groupés autour d'un point  $o$  (fig. 180), dit point moyen, autour duquel ils se serrent. Nous pouvons faire passer deux lignes perpendiculaires  $x'ox$ ,  $y'oy$  par ce point  $o$  et il y a autant de points de chute au delà de  $x'x$  qu'en deçà et autant à droite de  $yy'$  qu'à gauche. Soit  $M$  un point d'impact quelconque, la distance  $Mm$  s'appelle l'*écart en portée*, la distance  $mo$  est l'*écart en direction*. Or, on trouve que 50 % des coups sont contenus symétriquement (ou à peu près) entre deux lignes parallèles à  $x'x$  menées par  $A$  et  $A'$  à une distance de  $o$  appelée *écart probable* ( $e. p.$ ); deux autres bandes  $BA$  et  $A'B'$  distantes des précédentes de cette même longueur renferment 16 % chacune, soit 32 % pour les deux; deux autres bandes  $CB$  et  $C'B'$  en renferment 7 % chacune et enfin les deux dernières bandes  $DC$  et  $C'D'$  ne renferment plus que 1,5 % chacune. Le total fait 99,5 %; le reste 0,5 % est disséminé en dehors de ce compartimentage. Une répartition analogue a lieu à droite et à gauche de  $yy'$

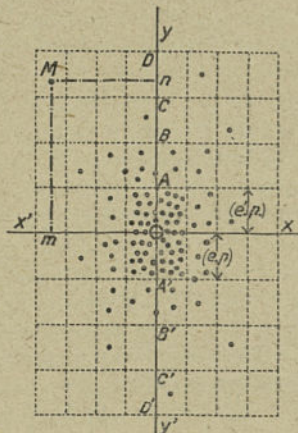


Fig. 180. - Dispersion des points de chute autour du point moyen; écarts en portée et en direction; écart probable ( $e. p.$ ).

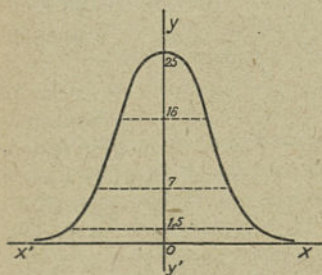


Fig. 181. - Courbe de probabilité des écarts (courbe en cloche).

en ce qui concerne les écarts en direction.



On peut représenter graphiquement ces résultats en portant en abscisses les écarts, en ordonnées les nombres de points de chute ; on obtient ainsi une *courbe en cloche* (fig. 181) caractérisant la répartition des écarts et leur probabilité. Pour préciser davantage disons que, lorsqu'on considère un très grand nombre de coups tirés, la *probabilité d'un écart* est la fraction du nombre total de coups tirés qui exprime le nombre de fois que l'écart considéré s'est trouvé réalisé.

Voici, d'après les tables de tir, quelques exemples numériques sur les chances d'atteindre un but dans un tir prolongé :

1<sup>er</sup> Exemple. — Probabilité d'atteindre un carré de 4 mètres de côté à 4000 mètres au moyen d'obus lancés par un tir de précision d'un canon de 155. Sur 100 coups tirés, il est probable que deux au plus atteindront l'objectif. L'écart probable en portée est, à cette distance, de 22 mètres, l'écart probable en direction étant 3 m. 50.

2<sup>e</sup> Exemple. — Probabilité d'atteindre à 7000 mètres un objectif de 60 mètres de front sur 6 mètres de profondeur (tel qu'une batterie). Sur 100 coups tirés, il est probable que 11 atteindront l'objectif. L'écart probable en portée est 38 mètres, l'écart en direction 10 mètres.

Plus les écarts sont faibles, plus la pièce est précise et moins il faudra de coups pour toucher et détruire le but. Le nombre de coups à tirer et l'approvisionnement en projectiles peuvent ainsi être calculés *a priori*.

### III. — LE CANON.

Le dispositif de lancement est le canon. Nous laisserons de côté la description des anciens modèles en bronze pour nous attacher uniquement à ceux en acier actuellement en usage. Une question importante est celle du *recul* qui tend à déranger le pointage, d'où une perte de temps et une diminution de la puissance offensive de la pièce. Il existait autrefois des canons dans lesquels le recul se faisait sur un plan incliné contrariant le mouvement ; la pesanteur ramenait ensuite tout le système en position de tir. Ce procédé a fait place à celui dit à *recul du*

*tube*, ainsi désigné parce que le tube *seul* recule sur des glissières, tandis que tout le reste demeure fixe. Ce recul est limité par un *frein hydraulique*; un *récupérateur*, généralement *pneumatique*, c'est-à-dire à air comprimé, mais à ressort dans les canons allemands; ramène le tube à sa position de tir. Le récupérateur et le frein sont, en général, deux organes séparés sauf dans le canon de 75 (récupérateur hydropneumatique).

Le pointage d'un canon comprend celui en *hauteur* et celui en *direction*. Pour le pointage hauteur, le système canon-frein porte deux tourillons supportés par l'affût et peut tourner d'un angle donné autour de l'axe horizontal de ces tourillons. Le pointage en direction s'obtient de deux manières : 1<sup>o</sup> soit par *coulissement* de l'affût sur l'essieu (exemple, le canon de 75, le canon de 155 C. de Saint-Chamond, etc.); 2<sup>o</sup> soit par *pivotement* autour d'un axe vertical d'une partie de l'affût.

Avant d'aller plus loin, esquissons une classification des divers engins du matériel d'artillerie. Autrefois on distinguait : l'*artillerie de campagne* destinée à suivre les troupes dans ses déplacements successifs, l'*artillerie de siège et de place*, l'*artillerie de côte*, selon les conditions spéciales d'emploi de ces armes. Mais actuellement la guerre en rase campagne exige l'emploi, non seulement de pièces légères, mobiles et à tir rapide, telles que le canon de 75, mais encore d'un matériel aussi puissant que celui qui était réservé à la défense des places et que l'on destine maintenant à préparer les attaques et à écraser les abris de l'ennemi. Aussi n'y a-t-il plus à considérer que deux catégories de matériel : l'*artillerie légère* ou *de campagne* et l'*artillerie lourde*; ajoutons-y un matériel spécial : l'*artillerie de tranchée*.

Le tableau suivant résume les faits essentiels :

Calibre au plus égal à 90 . . . . .	Artillerie de campagne. Canons de 75, 80, 90.	{ Canons courts (tir courbe). Canons longs (tir tendu).
Calibre supérieur à 90 . . . . .	Artillerie lourde	

L'artillerie lourde comprend une gamme complète de tous les

calibres, notamment depuis le 105 moderne jusqu'aux puissants canons de 400 et plus. Certaines unités peuvent se déplacer par leurs propres moyens, soit par traction animale (batteries attelées), soit par traction automobile (batteries à tracteurs); ces pièces peuvent mériter l'appellation d'artillerie lourde de campagne, tandis que d'autres ne peuvent être transportées que sur voies ferrées à écart normal ou réduit (0 m. 60).

Les canons courts permettent, par leur puissance et par la courbure de leur trajectoire, d'atteindre et de démolir des organisations solides et défilées. Le type courant est le 155<sup>1</sup> court Schneider; les spécimens les plus puissants sont l'obusier ou mortier de 400 et celui de 520. La figure 182 représente un obusier de 200 millimètres à tir rapide monté pour pouvoir se

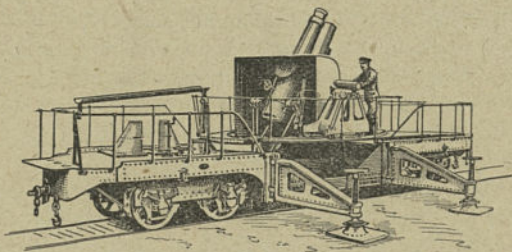


Fig. 182. — Obusier à tir rapide, sur plate-forme de chemin de fer (calibre 200 mm.).

déplacer et tirer sur voie ferrée. Cet ensemble, construit par les Établissements du Creusot, était d'abord destiné à la défense mobile des côtes mais, vu les nécessités de la défense du territoire, il a été utilisé dans la grande guerre mondiale comme matériel d'A. L. V. F. (artillerie lourde sur voie ferrée) et d'A. L. G. P. (artillerie lourde à grande puissance). Ce canon lance à la vitesse de 430 mètres environ, un obus pesant 100 kilos, renfermant le dixième de son poids d'explosif inté-

1. Ce qui signifie que le *calibre*, ou diamètre du projectile, est de 155 millimètres et que le matériel est construit par la maison Schneider, du Creusot.



rieur, et pouvant atteindre une portée voisine de 12 kilomètres en tir plongeant ou vertical, sous un angle de tir maximum de  $60^{\circ}$ . La longueur du tube est 15 calibres, donc d'environ  $0^m,2 \times 15 = 3$  mètres ; ce tube recule sur une pièce appelée *traîneau* renfermant deux *freins hydrauliques*, pour amortir le recul, et un *récupérateur* à air comprimé pour ramener exactement le canon dans sa position de tir primitive. Le tube et son traîneau reposent sur un organe appelé *berceau* porté par l'affût qui est lui-même fixé à une plate-forme circulaire mobile autour d'un pivot vertical tout en reposant sur une couronne de galets. Tout l'ensemble est supporté par un dispositif de transport désigné sous le nom de *truck* : c'est en quelque sorte comme un wagon réduit à une plate-forme allongée portée à chacune de ses extrémités par deux bogies visibles sur la figure, à l'avant et à l'arrière. Un bogie est formé d'un châssis métallique portant deux essieux et quatre roues et un système de pivotement autour duquel s'articule l'avant ou l'arrière-train d'une locomotive, d'un long wagon, etc., ce qui permet à ces véhicules de franchir sans coincements ni grippements les courbes de faible rayon. On aperçoit encore sur la figure 182 les organes suivants : une plate-forme circulaire munie de rails concentriques sur lesquels peut circuler le *chariot de chargement* portant un obus et à côté duquel se trouve un servant ; grâce à ce dispositif, il n'est pas nécessaire de ramener le mortier dans l'axe de la voie pour introduire le projectile dans la pièce ; de chaque côté du truck, deux fortes pièces métalliques triangulaires articulées, dites *volets de tir*, qui peuvent se rabattre contre les parois du truck ou s'ouvrir au contraire, pour le tir, et qui portent des *vis calantes* que l'on peut faire reposer sur des plateaux formant comme des sortes de crapaudines ; un *masque* en forte tôle pour protéger le personnel.

Le poids total de tout l'ensemble est 33 tonnes et la mise en batterie peut s'effectuer dans le court laps de temps de dix minutes.

La figure 183 donne une idée schématique de l'aspect et de l'organisation d'un obusier de 520 en position de tir. Cet en-

semble qui pèse au total 250 tonnes (dont 86 tonnes pour la bouche à feu, le berceau et les accessoires) est monté sur un affût truck et permet l'exécution de tirs sous des angles voisins de  $60^{\circ}$ , avec une portée maxima de 18 kilomètres pour des obus de 1400 kilogs renfermant environ 300 kilogs d'explosifs. La longueur totale de la pièce est de 46 calibres, soit  $0^m,32 \times 46 = 8^m,32$ ; la mise à feu se fait électriquement, le tube P recule alors d'environ un mètre à l'intérieur d'une masse B appelée berceau<sup>1</sup> munie de glissières appropriées et dans

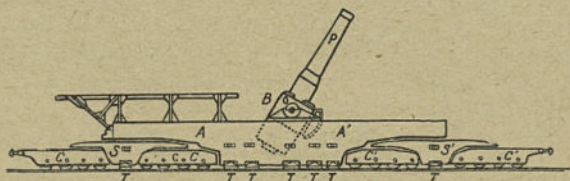


Fig. 183. — Obusier de 520 en batterie, sur poutre-affût AA', sommiers SS' et bogies C... C', reposant sur voie ferrée.

laquelle sont distribués quatre cylindres de frein et deux récupérateurs à réservoirs d'air. Tout le système pièce-berceau peut osciller autour d'un axe O perpendiculaire à la voie ferrée et repose sur la poutre affût AA' par une suspension élastique; le *pointage en direction* ne nécessite pas d'organes spéciaux, il s'effectue simplement en déplaçant tout le matériel sur une *voie courbe*. Pendant le tir, des *traverses* TT... TT transmettent à la voie la réaction des efforts de recul. Pour le transport ou le déplacement, la poutre-affût AA' s'appuie sur deux supports SS' appelés *sommiers*, placés l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, et offrant chacun un pivot central. Ces sommiers reposent eux-mêmes sur un double système de bogies à quatre essieux CC, C'C', actionnés au moyen de moteurs électriques placés sous la commande directe du pointeur. Quant au courant électrique nécessaire à la mise en marche de tout le système et de ses accessoires, il est produit par une station

1. Signification différente pour le canon de 75 (voir plus loin).



spéciale roulante accompagnant le matériel dans tous ses déplacements. L'ensemble occupe sur la voie un développement de 32 mètres de longueur.

Les canons longs réalisent de grandes portées mais, à calibre égal, ils ont une puissance destructive moindre que les canons courts. Le type courant était autrefois constitué par le matériel de Bange (calibre 95 120-155); actuellement, il est réalisé par le 155 long moderne, dont il existe plusieurs modèles, et le 105 long. Les types les plus puissants sont formés par des canons de marine, de bord ou de côté, disposés sur des trucks de chemins de fer.

Il est impossible de donner ici

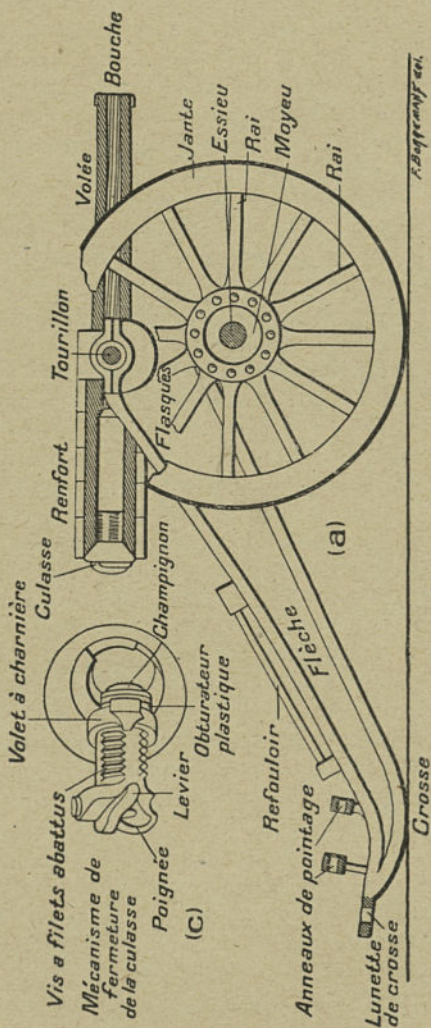


Fig. 184 — Canon français système de Bange. (a) coupe et élévation; (c) culasse mobile.



une idée, même sommaire, de tous les systèmes de canons. Il nous suffira d'appeler l'attention sur deux points essentiels : le mode de chargement et la récupération du recul. Un grand progrès a d'abord été réalisé par l'invention de la *culasse mobile* qui permet le chargement rapide et une meilleure utilisation de la force de poussée des gaz de la poudre. La figure 184 représente schématiquement la pièce système *de Bange* montée sur son affût. En (a) on aperçoit la coupe intérieure du canon, dont l'âme n'est rayée, comme toujours, que sur une partie de sa longueur, de façon à ménager vers le fond une partie lisse, dite *chambre de charge*, de diamètre un peu plus grand que l'âme et où l'on introduit la charge de poudre et l'obus. Le mécanisme de fermeture de la culasse est représenté à plus grande échelle en (c) ; le rôle principal est joué par un bouchon cylindrique à vis, dont les filets ont été enlevés suivant trois régions parallèles à l'axe jusqu'à la dimension du *noyau* de vis ; l'intérieur de la culasse présente une disposition analogue mais en contre-partie ; si bien que, malgré le taraudage de l'une et le filetage de l'autre, on peut introduire d'un *seul coup* le bouchon dans la culasse, filets contre surfaces lisses ; il suffit ensuite de donner au cylindre un *sixième* de tour pour mettre en prise complète tous les filets et réaliser une fixation rigide. La manœuvre se fait au moyen d'une *poignée* et d'un *levier* ; le bouchon est porté par un collier, ou *volet*, mobile autour d'une charnière ; toute fuite est évitée par la présence d'une matière plastique entourant la tête de la vis. L'affût est un chariot à deux roues, constitué par deux joues en forte tôle, ou *flasques*, formant ensuite un rétrécissement appelé *flèche* dont l'extrémité prend le nom de *crosse* (fig. 184, a).

**Canon de 75.** — Le canon précédent ne pouvait tirer que deux ou trois coups à la minute ; on a cherché à faire mieux encore ; il faut en effet se rendre compte que, sur le champ de bataille, un accroissement de rapidité du tir produit un double effet : matériel, par sa puissance destructive, et moral, par l'influence déconcertante exercée sur l'esprit de l'adversaire, par des coups répétés à si peu d'intervalle ; or, ce qui prend surtout du temps, c'est le *pointage* qu'il faut recommencer après

chaque coup si la pièce a été dérangée de sa position primitive par le *recul*. Il ne faut pas songer à supprimer ce recul, mais on peut faire en sorte de le canaliser, le diriger pour ainsi dire, de telle façon que le *pointage ne soit pas dérangé* ; pour cela on immobilise absolument l'affût sur le sol et on laisse le tube subir le recul, glisser sur son support, mais en absorbant au fur et à mesure sa force vive par un système appelé *frein* et qui en outre, étant *parfaitement élastique*, peut jouer ensuite le rôle de *récupérateur*, c'est-à-dire, par sa détente, de restituer intégralement l'énergie absorbée et de ramener exactement le canon dans sa position initiale. Aussi, tous les canons actuels, longs ou courts, sont à *recul du tube* et à *frein-récupérateur*.

En ce qui concerne le canon de 75, il est impossible d'entrer ici dans la description de tous les détails qui font cependant l'admiration des techniciens, aussi nous bornerons-nous à mettre en lumière les caractères essentiels suivants :

- 1<sup>o</sup> Son frein hydropneumatique ;
- 2<sup>o</sup> Son mécanisme de hausse indépendante du site ;
- 3<sup>o</sup> Son coulissement sur l'essieu ;
- 4<sup>o</sup> Le poids d'explosif de son projectile.

Au début de la grande guerre mondiale, ses avantages sur son concurrent ennemi, le 77 allemand, étaient : la perfection du frein, le coulissement dont il vient d'être parlé et la grande capacité relative de son obus en explosif.

**Frein hydropneumatique.** — C'est à la fois un *frein* et un *récupérateur* de recul. Un corps qui tend à absorber de la force vive, à réduire une vitesse, prend le nom de *frein* ; de plus celui dont on a besoin ici doit être parfaitement élastique, afin de jouer exactement son rôle de *récupérateur* ; les artilleries étrangères emploient dans ce but diverses matières (ressorts d'acier, en Allemagne) dont aucune n'est absolument satisfaisante : l'acier se fatigue, arrive à casser, le caoutchouc s'altère à la longue, durcit en hiver, etc. En France, nos officiers ingénieurs ont trouvé mieux ; ils se sont adressés à une substance idéalement parfaite, toujours semblable à elle-même et inusable : l'*air* tout simplement, renfermé dans un réservoir fixé à l'affût et comprimé jusqu'à 420 kg — cm<sup>2</sup> par un système



de pistons dont la tige de l'un est reliée à la culasse du canon ; lorsque le coup part, le canon recule bien droit en roulant sur des glissières au moyen de galets, il entraîne ainsi la tige et comprime l'air ; puis celui-ci se détend, revient *exactement* à son volume primitif et le tube-canon à sa position initiale ; le pointage n'est pas dérégulé ; il suffit pour cela qu'il n'y ait pas de fuites d'air : un piston ordinaire ne peut convenir, il faut une fermeture *douce* et *étanche* rigoureusement ; donc nécessairement hydraulique, c'est-à-dire à liquide le quel est, dans le cas précédent, de l'huile dite *oléonaphte* ; on comprend ainsi l'appellation de frein *hydropneumatique* donnée à ce

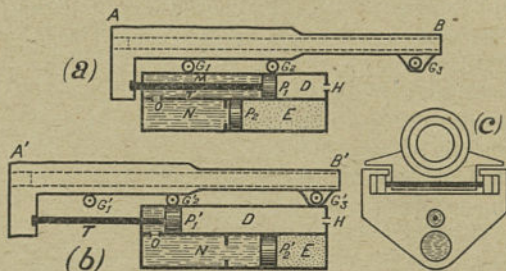


Fig. 185. — Frein récupérateur hydropneumatique du canon de 75.

merveilleux appareil qui fait honneur au génie inventif de nos officiers et qui est pour nous, Français, un élément de supériorité. La figure 185 représente schématiquement l'ensemble du frein En (a) on voit la position des diverses parties avant le départ du coup ; AB est le tube avec ses paires de galets de roulement  $G_1G_2G_3$  (ces derniers sont appelés *galets de bouche*) dont les deux premières paires reposent sur le corps du frein<sup>1</sup> ; celui-ci se compose de deux parties : 1° un cylindre MD dans lequel se meut un piston  $P_1$  relié solidairement à la culasse du canon par une tige T ; à droite de  $P_1$  se trouve un espace D communiquant librement avec l'atmosphère par une ouverture H

1. Quand le canon roule sur route, il n'y a plus contact direct des galets et des chemins de roulement afin d'éviter leur dégradation réciproque.



(dispositif d'arrêt pour les poussières); l'espace M, à gauche de  $P_1$  est rempli d'oléonaphte; 2° un second cylindre NE divisé en deux compartiments par un piston libre  $P_2$ ; à droite de celui-ci l'espace clos E est rempli d'air comprimé à 120 kg.  $\text{cm}^2$ ; à gauche le compartiment N est rempli d'oléonaphte et communique avec l'espace M du cylindre supérieur par un orifice O. Voyons alors ce qui se passe au départ du coup [partie (b) de la figure]; le tube recule d'environ 1 m. 20 et prend la position A'B', les galets  $G_1$  quittent les glissières inférieures et viennent en  $G'_1$ ,  $G_2$  en  $G'_2$  et, pour éviter le basculement du canon en arrière, les galets de bouche  $G_3$  viennent s'engager en  $G'_3$  sous une glissière supérieure, comme le montre suffisamment la figure en coupe (c). Dans ce mouvement de recul, la culasse a entraîné, par l'intermédiaire de la tige T, le piston  $P_1$  jusqu'en  $P'_1$  et refoulé l'oléonaphte à travers l'orifice O dans le compartiment inférieur N, ce qui a refoulé le piston libre  $P_2$  jusqu'en  $P'_2$  et comprimé davantage l'air de l'espace clos E; ensuite cet air va se détendre et ramener  $P'_2$  en  $P_2$  jusqu'à une butée invariable; le canon est prêt à tirer de nouveau et cela, dans un temps très court car le recul et le retour n'exigent qu'environ deux secondes.

**Fermeture de culasse.** — Le système de fermeture de la culasse est encore plus simple et plus rapide que celui que

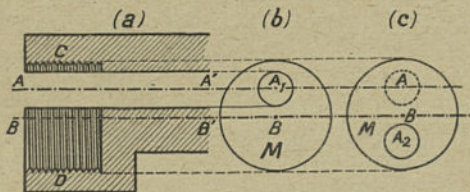


Fig. 186. — Fermeture de culasse du canon de 75; schéma.

nous avons décrit à propos du canon de Bange. Ici, plus de charnière ni de bouchon à pas de vis abattus; l'arrière de la culasse est creusé d'une cavité cylindrique CD (figure 186) *excentrée* relativement au tube lui-même, c'est-à-dire que

l'axe BB' de cette cavité est en dessous de l'axe AA' de la pièce. Cette cavité CD est taraudée intérieurement et peut recevoir un bouchon cylindrique M (fig. b) fileté extérieurement et perforé en A<sub>1</sub> d'un orifice prolongeant exactement la chambre de chargement et permettant d'introduire la cartouche ; une fois ceci fait, il suffit de donner au bouchon un demi-tour pour amener l'ouverture A<sub>1</sub> en A<sub>2</sub> (fig. c) et réaliser instantanément une fermeture hermétique et résistante.

En résumé, ce système excentré à vis fonctionne selon les schémas suivants : (a) et (b) culasse ouverte pour la charge ; (c) culasse fermée pour le tir.

**Pointage. — Mécanisme de hausse indépendante ; berceau.** — Rappelons qu'en vertu de l'hypothèse suffisamment vraie de la *rigidité de la trajectoire* (voir antérieurement), l'inclinaison totale à donner à la pièce est la somme de l'*angle de site* (qui ne dépend que de la différence des niveaux but et canon) et de l'*angle de hausse* qui est seulement sous la dépendance de l'éloignement du but. Une des caractéristiques du canon de 75 est précisément de produire ces inclinaisons par le jeu de deux mécanismes indépendants réalisant ainsi une véritable division du travail de pointage. Cette organisation est très utile pour le rendement en rapidité de tir d'un canon d'artillerie légère ; en effet, l'inclinaison due *au site* conserve généralement une valeur invariable pendant un temps prolongé, tandis que la portée du tir et, par conséquent, la hausse selon la distance, doit souvent être modifiée d'un instant à l'autre, lorsqu'il s'agit notamment d'allonger le tir peu à peu pour couvrir la progression de troupes se dirigeant vers un objectif assigné par le commandement. On conçoit donc que le travail du *tireur*, lequel est placé à droite et qui a en outre la main sur la manivelle des hausses, gagne en rapidité et en précision puisqu'il n'a pas à se préoccuper de l'angle de site ni de la direction qui sont l'objet des soins du servant de gauche appelé *pointeur*. Nous pensons avoir ainsi montré suffisamment le principe de la division du travail dans la mise en action du canon de 75. Voyons maintenant comment ce principe est réalisé pratiquement.



L'organe de discrimination des mouvements indépendants est une pièce spéciale appelée le *berceau* dont la figure 187 représente une vue perspective. Deux solides branches parallèles DD' se réunissent à l'arrière et se prolongent par une crémaillère U à laquelle est articulée en *m* la tête d'une tige filetée V dont l'extrémité supérieure (non représentée) supporte l'arrière du frein et du canon. L'avant des branches DD' est solidaire d'un manchon NN' formant

tourillons creux et emboîtant les tourillons pleins MM' sur lesquels repose et autour desquels peut tourner le système canon-frein. Sur le côté gauche, une portée *ee* soutient un niveau à bulle *a* et une colonnette portant un *collimateur* de visée C à l'intérieur duquel sont tracées sur

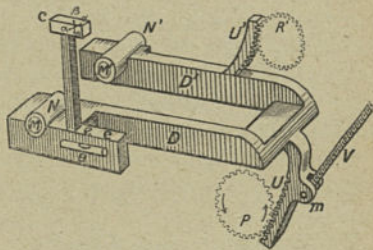


Fig. 187. — Le berceau du canon de 75, organe de discrimination des mouvements indépendants : pointage en hauteur, et hausse selon la distance.

une plaque de verre deux lignes perpendiculaires dites *lignes de foi* : l'une horizontale  $\alpha\alpha$  pour le repérage en hauteur, l'autre verticale  $\beta\beta$  pour le pointage en direction. On voit donc que le berceau est un bâti intermédiaire entre l'affût et le système canon-frein ; le canon est mobile par rapport au berceau, lui-même mobile relativement à l'affût ; le berceau tournant autour du même axe que le canon et ses tourillons emboîtant ceux du frein.

Pour le pointage en hauteur (angle de site), le berceau est mis en mouvement par un volant P situé à gauche de la pièce et actionnant la crémaillère U, non pas directement comme le représente schématiquement la figure 187, mais par une série d'engrenages renfermés dans un carter sphérique. Ces variations d'inclinaison du berceau sont indiquées au *pointeur* placé à gauche de la pièce par le niveau à bulle *a* ; ce pointage en hauteur est réalisé lorsque le but et la ligne de foi horizon-



tale du collimateur sont à même hauteur sur le rayon visuel.

Le pointeur a encore pour rôle d'orienter la pièce dans la direction du but (pointage en direction), ce qu'il effectue en utilisant le trait vertical du collimateur; celui-ci porte en outre un dispositif dit *tambour des dérives* qui permet de tenir compte de la dérive (voir antérieurement) selon les indications du commandant de batterie.

Quant à la hausse selon la distance elle est donnée, avon-nous déjà dit, par le tireur placé à droite, celui-ci agissant sur une manivelle qui est à côté de lui et peut faire monter ou descendre le long de la vis V un écrou (non figuré ici) solidaire du frein-tube; or ce dernier système porte un tambour R' appelé *tambour des hausses* qui engrène avec l'arc denté U' fixé au berceau; il en résulte que les mouvements relatifs du tube par rapport à ce berceau seront indiqués par ce tambour des hausses.

**Coulissement sur l'essieu.** — Il peut être utile de changer la direction dans de certaines limites sans avoir à

déranger l'ensemble de l'affût ni le point de fixation de la bèche dans le sol; on peut ainsi effectuer rapidement ce qu'on appelle le *tir en éventail* représenté schématiquement en (b) sur la figure 188 où l'on voit en EE' l'essieu et les roues et en K la bèche; les li-

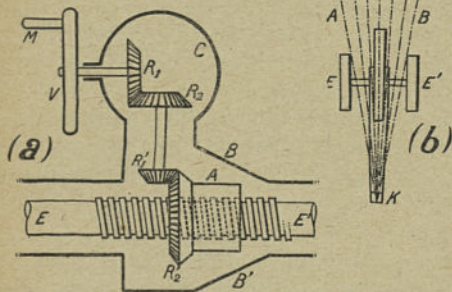


Fig. 188. — Canon de 75. — (a) Mécanisme de coulissement sur l'essieu (b) tir en éventail.

gnes interrompues indiquent les différentes directions que l'on peut donner à l'axe du tube et au tir. Ce résultat est obtenu grâce au *coulissement* de la pièce sur l'essieu, dispositif dont la

partie (a) de la même figure fait comprendre le principe ; EE' est l'essieu portant un pas de vis sur lequel peut se déplacer un manchon taraudé A portant une couronne dentée R'<sub>2</sub> actionnée au moyen d'un jeu de roues intermédiaires R'<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>1</sub>, par un volant V et une manivelle M (*volant de pointage en direction*). Ces engrenages sont renfermés dans un carter C. On comprend qu'en tournant le volant V la pièce solidaire du bâti BB' et du

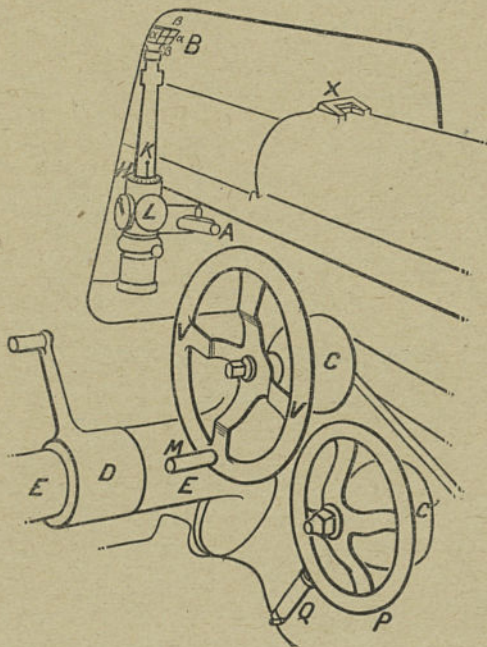


Fig. 189. — Canon de 75 ; partie gauche de la pièce. Organes de pointage en direction et en hauteur. C'est de ce côté que se tient le *pointeur*.

manchon-écrou A se déplacera latéralement en pivotant autour de la bêche. On peut ainsi produire un déplacement angulaire total de 104 millièmes.

La figure 189 représente une portion de la partie gauche de  
IRIS - LILLIAD - Université Lille

la pièce, celle où se tient le pointeur protégé par un masque. Ce servant a dans ses attributions l'usage des organes suivants : V volant de pointage en direction et sa manivelle M, C carter des engrenages correspondants ; P volant de pointage en hauteur (angle de site), C' carter correspondant, Q verrou de fixation ; A niveau à bulle ; B collimateur avec son plateau H et l'index K de repérage ; L tambour des dérives ; X guidon.

La figure 190 représente une portion de la partie droite de la pièce, celle où se tient le tireur protégé, comme le pointeur,

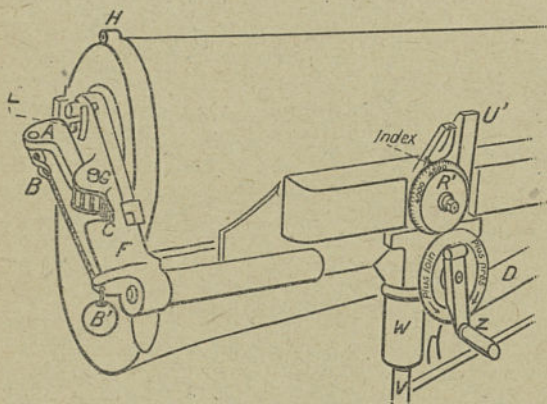


Fig. 190. — Canon de 75 ; partie droite de la pièce. Mécanisme de hausse selon la distance, etc. C'est de ce côté que se tient le tireur.

par le masque d'acier. Ce servant est chargé des actes suivants : 1° En tournant la manivelle ZZ, il fait monter ou descendre le manchon écrou W solidaire du système frein-tube et donne par conséquent à celui-ci la hausse voulue selon la distance ; cette hausse est indiquée sur le tambour R' gradué en distances et appelé *tambour des hausses* ; D est une portion visible du berceau, V est la vis articulée à ce dernier en *m* (Voir la figure 191), les mêmes lettres correspondant aux mêmes organes ; 2° La mise de feu ; pour faire partir le coup, le servant prend la boule B' du *tire-feu* BB, et l'abandonne aussitôt, alors



le *marteau* A, qui s'était trouvé momentanément éloigné et avait comprimé un ressort contenu dans la partie F, est vivement rappelé par la détente de ce ressort et vient frapper le *percuteur* E, lequel traverse la culasse et choque l'amorce de la cartouche.

Le trou H est l'*œilleton*. La droite qui joint l'œilleton au guidon détermine la direction d'axe de la pièce. La figure 191 donne une idée de l'ensemble de la pièce : (a) avant le tir ; (b) pendant le recul. AB est le tube ; C est le frein ; D le berceau avec sa crémaillère U et l'articulation *m* de la vis V sur laquelle

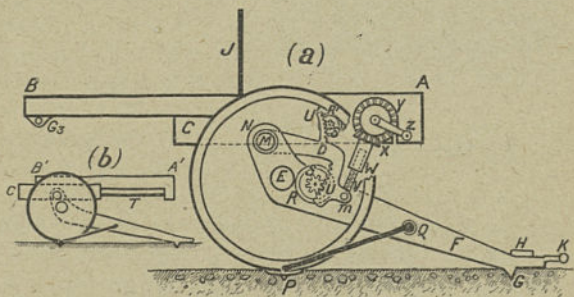


Fig. 191. — Ensemble de la pièce de 75. — (a) avant le tir ;  
(b) pendant le recul.

peut monter ou descendre le manchon-écrou W, solidaire du frein, sous l'action de la manivelle *z* et des engrenages *xy*, pour donner la hausse selon la distance. (En réalité ces derniers organes sont à droite de la pièce, donc non visibles, mais on les a figurés néanmoins pour la compréhension de l'ensemble) ; R et S sont les organes de pointage en hauteur agissant sur la crémaillère U et déplaçant en bloc tout le système berceau frein-canon. J est le bouclier, F la flèche, G la bêche de crosse, H la poignée, K la lunette de cheville ouvrière, P un des patins de roues et PQ un des tirants de patins.

La figure 192 donne une idée de la position des servants au moment du tir.

Terminons ces notions sur le canon de 75 en disant qu'elles  
IRIS - LILLIAD - Université Lille

ne peuvent donner qu'une bien faible idée de l'ingéniosité de ce merveilleux mécanisme où tout est prévu, où le moindre détail a son rôle précis. Un exemple permettra d'apprécier le souci constant de précision et de sécurité d'emploi. Supposons qu'en vue d'un nettoyage, d'une visite ou d'une réparation, on ait eu besoin de démonter la liaison entre la tige du piston de frein et la culasse et qu'on ait oublié ensuite de rétablir cette

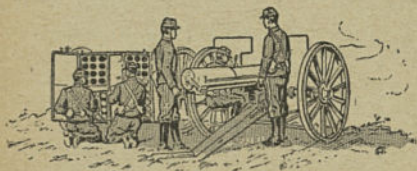


Fig. 192. — Canon de 75. Position des servants, à l'abri derrière les boucliers de pièce et de caisse.

connexion indispensable, un danger terrible menace alors les servants : au départ du premier coup tiré, le projectile va bien partir en avant mais le recul n'étant plus freiné, la masse énorme du

canon va être projetée en arrière et porter la mort autour d'elle. Or, ce navrant accident *ne pourra pas se produire* parce que la tige du frein est reliée à l'arrière du canon par une clavette disposée de telle façon que, d'une part, on ne peut l'enlever que si la culasse est ouverte, donc sans danger de tir, et que d'autre part ladite culasse ne peut se refermer que si la clavette est bien remise en place. On pourrait multiplier de tels exemples.

**Canons automatiques.** — Ces engins sont fondés sur l'utilisation du recul, de telle sorte que celui-ci soit employé à réaliser le chargement du coup suivant. On obtient ainsi une très grande rapidité lorsqu'on dispose d'une installation fixe, comme sur une côte ou à bord d'un navire.

**Affûts à éclipse.** — C'est encore un système basé sur l'emploi du recul et du frein hydraulique : aussitôt le coup parti, la pièce et son affût s'abaissent derrière un épaulement ; pendant ce temps, le coup suivant se prépare, la pièce émerge de nouveau, tire, puis disparaît et ainsi de suite.

**Grosses pièces marines.** — Les puissants navires cuirassés, comme les « Dreadnoughts » et autres, sont pourvus

de canons monstres ayant jusqu'à 405 millimètres d'alésage et plus. Ils sont installés dans des tourelles protégées par un épais cuirassement et sont mobiles autour d'un axe vertical, de façon à pouvoir balayer un certain angle d'horizon (fig. 193).

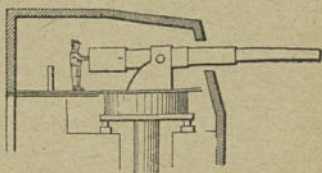
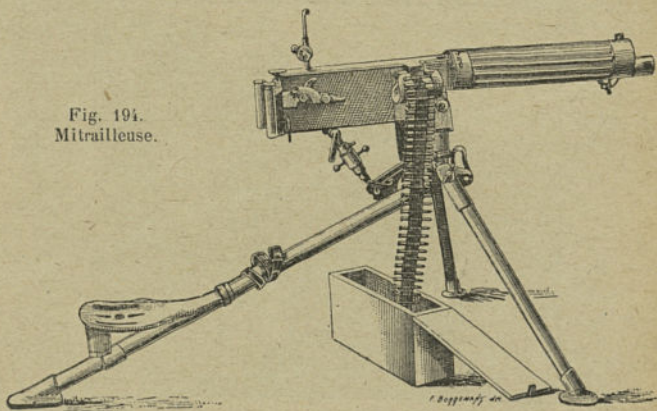


Fig. 193. — Tourelle protégée de navire de guerre, avec son canon.

**Mitrailleuses automatiques.** — Enfin, à l'opposé de l'exemple précédent comme dimensions, on construit encore de petits engins d'artillerie, qui rachètent leur faiblesse par une énorme rapidité de tir ; ce sont les *mitrailleuses automatiques*, qui peuvent lancer plusieurs centaines de balles par minute, grâce à un mécanisme de *répétition*. C'est-à-

Fig. 194.  
Mitrailleuse.



dire de réarmement immédiat et mécanique ; le magasin, jouant le rôle de culasse, est alimenté par l'arrivée continue d'une bande de toile sur laquelle sont montées les cartouches (figure 194). On évite l'échauffement intempestif des canons au moyen d'un manchon refroidisseur ondulé. Le fonctionnement est dit *automatique* parce qu'il est assuré par le phénomène



du recul lui-même ; une fois le premier coup tiré, la douille vide est remplacée par une pleine et ainsi de suite.

#### IV. — NOTIONS SUR LA FABRICATION DES CANONS

Pour fabriquer un canon on commence d'abord par en faire une ébauche grossière au moyen d'une coulée de métal fondu dans un moule ; cette pièce d'origine est ensuite amenée par le forgeage à une forme meilleure, mais ce n'est encore qu'une ébauche approchée qui est alors forée axialement, trempée et enfin ajustée à la forme définitive. Passons rapidement en revue ces diverses opérations.

1° *Ébauche grossière.* — L'acier nécessaire est produit dans un four Martin acide, c'est-à-dire à revêtement intérieur de silice  $\text{SiO}_2$  (voir antérieurement obtention de l'acier et la

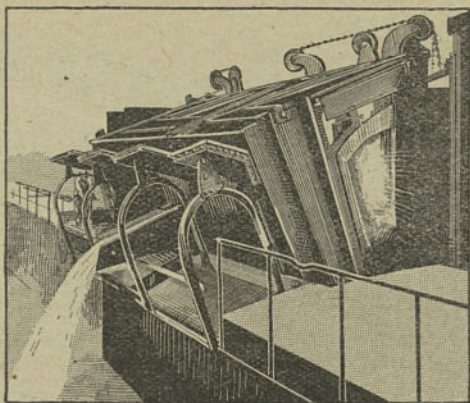


Fig. 195. — Four Martin basculant; coulée de 12 tonnes d'acier.

fig. 60); ce four est chargé de *riblons*, c'est-à-dire de débris de ferrailles les plus diverses mais néanmoins en métal fin, avec une proportion déterminée de fonte affinée, ou fer *pudlé*, et addition de ferro-manganèse et de ferro-nickel. Un procédé très commode au point de vue de la facilité de coulée et de la rapidité

du travail, qui devient ainsi continu, consiste à employer des fours Martin *oscillants* (fig. 195); ces appareils garnis de galets peuvent être inclinés plus ou moins et verser tout ou partie du métal liquide qu'ils contiennent dans une poche préalablement chauffée et formant lingotière verticale. Pour un tube de canon de 75 il faut obtenir un

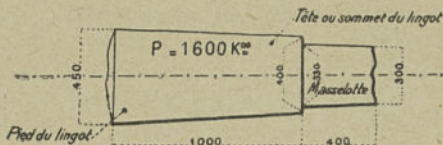


Fig. 196. — Lingot d'acier destiné à la fabrication d'un tube de canon de 75.

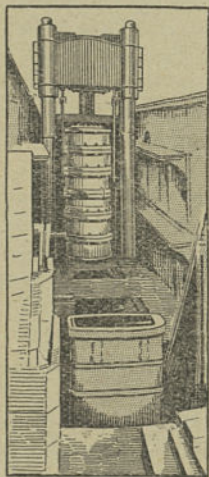


Fig. 197. — Presse hydraulique de 10.000 tonnes pour la compression de l'acier coulé dans les lingotières.

lingot pesant 1600 kilogs et ayant les dimensions indiquées figure 196. Un canon de 380 exige un lingot de 100 tonnes. Ces poids sont, les uns et les autres, toujours supérieurs au poids définitif à cause des *chutes* de métal qu'il faut opérer par la suite. Tout d'abord, par suite de la contraction éprouvée par le métal pendant son refroidissement, il se forme à la partie supérieure et suivant l'axe du lingot une dépression et un vide constituant ce que l'on appelle la *retassure*; de plus, la constitution du lingot n'est pas homogène, les éléments fer, carbone, impuretés ne se distribuent pas uniformément de haut en bas; il faut donc supprimer et la partie supérieure, ou *masselotte*, soit 40 0/0, et la partie inférieure, ou *pied*, représentant 5 à 6 0/0. Toutes ces *chutes* ont pour effet d'augmenter sensiblement le prix de la pièce, aussi a-t-on cherché à les diminuer dans la mesure du possible, notamment la *retassure* en

soumettant la partie supérieure du lingot pendant sa solidification à une forte compression d'environ 500 kg-cm<sup>2</sup>. La figure 197 représente une grande lingotière en usage au Creusot de 1<sup>m</sup>,77 de diamètre, pesant 140 tonnes et permettant de produire un lingot de 105 tonnes; elle est formée de douves en fonte soutenant un enduit réfractaire intérieur et maintenues extérieurement par des viroles d'acier boulonnées. Une fois que le métal liquide y a été versé, on amène son ouverture supérieure au-dessous d'un piston plongeur de même diamètre et l'on fait agir la pression de l'eau.

2° **Forgeage.** — Il se fait à chaud vers 1050° en soumettant le lingot à l'action du marteau-pilon ou d'une presse hydraulique spéciale à cet effet (voir antérieurement, fig. 99 et 100)<sup>1</sup>. Ce forgeage, ou corroyage, donne au lingot une forme plus approchée et *améliore les qualités du métal* au point de vue de la structure moléculaire et de la résistance. Ensuite on fait tomber les chutes, c'est-à-dire que l'on tronçonne la tête et le pied comme il a été dit. Enfin, par un nouveau réchauffage et un forgeage entre étampes demi-cylindriques on arrive à obtenir la forme presque définitive.

3° **Recuit après forgeage.** — On chauffe la pièce vers 950° dans un four dit à *recuire*, puis on la refroidit assez rapidement de 950° à 600° pour la laisser ensuite baisser lentement jusqu'à la température ordinaire. Ceci exige des chambres spéciales.

4° **Tournage extérieur et forage intérieur.** — Ces opérations amènent le métal à quelques millimètres près de ses cotes finales.

5° **Trempe.** — Le métal est chauffé à 875° et immergé rapidement dans un bain d'eau à 25°; autrefois on employait l'huile. La figure 198 représente le four et la presse de trempe utilisés au Creusot pour les canons de gros calibre. Le four a 25 mètres de hauteur, la *bâche* ou puits dans lequel se fait la trempe, en a 31, ce qui fait une hauteur totale de 56 mètres.

6° **Revenu.** — La trempe précédente a rendu le métal

1. On emploie aussi actuellement le *laminage* (figure 101) qui est plus rapide que les procédés précédents.



très dur et très résistant, mais fragile et beaucoup trop dur pour le travail à l'outil qu'il doit encore subir. Il faut donc le *recuire* entre  $500^{\circ}$  et  $675^{\circ}$  (opération encore appelée *revenu*) et le laisser refroidir lentement.

7<sup>o</sup> **Ajustage final et usinage mécanique.** — Tout ce qui reste à faire rentre dans le domaine des machines-outils :

a) Alésage intérieur ;

b) Tournage extérieur au diamètre précis intérieur des *frettes* de renforcement, en tenant compte du serrage nécessaire de celles-ci ;

c) *Frettage*. — Chaque frette est chauffée vers  $300^{\circ}$  à  $350^{\circ}$  au plus dans un four spécial, puis glissée sur le tube et abandonnée au refroidissement ; en se contractant, elle serre énergiquement et consolide le tube. On opère de même pour les frettes de deuxième rang après tournage soigné et précis de la surface extérieure de celles déjà posées en premier rang.

d) Rectification de l'âme au diamètre précis par rodage à l'émeri et rayage (opération analogue à un tarouflage).

Enfin il y aurait encore lieu de mentionner la fabrication de l'affût, du frein (compliquée), des appareils de pointage, de parler aussi du montage et des essais de vérification, mais ce sujet trop vaste sortirait du cadre de nos études. Disons seulement, pour terminer, que toutes ces opérations exigent un temps très long qui peut aller jusqu'à deux ans pour un gros canon de 520, mais que l'on peut abréger par le travail *en série* qui est d'ailleurs plus économique.

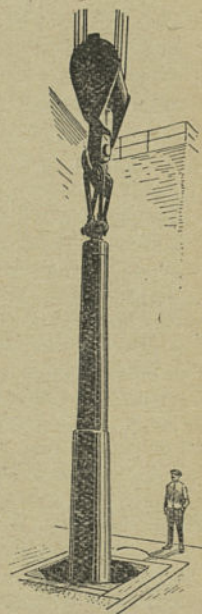


Fig. 198. — Puits de trempe de 31 mètres de profondeur pour les canons de gros calibre, aux usines Schneider, du Creusot (France).

## ARMES PORTATIVES. — FUSILS ET PISTOLETS

Une arme à feu portative comprend deux parties essentielles, le *canon* et le *mécanisme*, supportées par une *monture* en bois ou en métal. Distinguons : les *fusils de guerre*, où canon et monture sont liés rigidement et les *fusils de chasse* où le canon est mobile autour d'une charnière ; enfin les *pistolets* qui sont des armes de faibles dimensions.

A l'origine, le fusil se chargeait par la bouche et l'on forçait la balle dans le canon, à coups de maillet ; les armes qui se prêtaient à cette opération étaient dites *carabinées*, ou simplement *carabines*. On enflammait jadis la charge de poudre comme dans les anciens canons au moyen d'une mèche allumée et attachée à un organe mobile pouvant se rabattre par un mécanisme de détente ; puis on imagina bien d'autres systèmes, notamment la *batterie à silex* : une petite pierre de silex était fortement enchâssée entre les mâchoires d'une sorte de pince appelée *chien* ; en pressant sur un mécanisme de détente, ce chien s'abaissait sur un petit morceau d'acier placé près de la lumière, une étincelle jaillissait assez souvent et enflammait la poudre fine, ou *pulvérin*, qui emplissait le canal de la lumière, et le feu se communiquait ainsi à la charge du canon. Le petit morceau d'acier qui, par le choc du silex, produisait une étincelle, portait le nom de *fusil* ; ce terme finit par s'appliquer à l'arme entière, c'était le vieux *fusil à pierre*. Un immense progrès résulta de l'invention des *amorces fulminantes* ; il suffisait de placer une de celles-ci dans le voisinage de la charge, à la lumière, par exemple ; le chien, en se rabattant, provoquait la détonation de l'amorce et celle-ci l'inflammation de la poudre ; pour la commodité le fulminate de mercure était placé dans une boîte minuscule en laiton mince, appelée *capsule*. Les soldats étaient obligés de préparer d'avance tout ce qui était nécessaire pour tirer un nombre déterminé de balles ; ils avaient à leur disposition un petit matériel pour confectionner des étuis en papier dans lesquels on versait une charge mesurée de poudre, puis on plaçait par-dessus une rondelle de carton, ensuite la balle, et enfin on ligaturait ; tout cet ensemble constitué par le projectile, la charge de poudre et l'enveloppe s'appelait une *cartouche*. Pour l'emploi, le soldat déchirait la cartouche avec les *dents* (on réformait les recrues ayant une mauvaise dentition), vidait le contenu de la poudre dans la bouche du fusil tenu verticalement, refoulait légèrement avec une *baguette* et introduisait enfin la balle.

L'invention du chargement par la *culasse*, qui vit le jour en Prusse, révolutionna toutes ces anciennes pratiques, mais ne fut adoptée qu'après la défaite de l'Autriche par les Prussiens à Sadowa, en 1866. Avec un tel fusil, il n'était plus nécessaire de déchirer la cartouche, il n'y avait qu'à l'introduire *en bloc* dans la culasse, refermer celle-ci, viser et presser la détente : le chien venait s'abattre sur la capsule et le coup partait. Il était dorénavant tout indiqué de fabriquer les cartouches d'avance et en grand nombre ; la rapidité du tir et aussi, par conséquent, la puissance offensive des armées, s'en trouvaient énormément augmentées. L'étui ou douille fut d'abord en carton ; de nos jours, cette enveloppe est en laiton et contient,

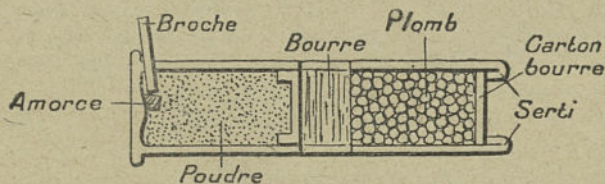


Fig. 199. — Cartouche à broche.

vers sa base renforcée ou *culot*, une amorce de fulminate ; pour faire détoner celui-ci, il faut lui faire subir un choc, soit par le chien lui-même, soit au moyen d'une fine tige d'acier, dite *percuteur*, qui s'introduit brusquement au centre de la cartouche. Dans le premier cas, la surface latérale de la cartouche est traversée, vers la base, par une petite tige appelée *broche* qui, intérieurement, est en contact avec le fulminate (fig. 199) ; si le chien vient à frapper sur l'extrémité extérieure de la broche, le coup part. Ces cartouches dites *à broche* sont encore employées quelquefois avec certains fusils de chasse.

Dans le second procédé, qui est le plus répandu, et le seul usité dans l'armée, la cartouche a la disposition indiquée (fig. 200) : c'est la cartouche à *percussion centrale*, ainsi appelée parce que le percuteur est une tige métallique qui vient frapper le culot de la douille en son centre, au point sensible où est l'amorce. Le mouvement de ce percuteur peut être



produit par la détente d'un *ressort à boudin*, ou bien par le chien-lui-même, comme on peut le voir dans les fusils de chasse et sur la figure 204.

Dans les armes modernes, on continue à appeler *chien*, la pièce du mécanisme qui, sollicitée par la tension d'un ressort bandé, vient, au moment où l'on presse sur une *détente*, choquer la cartouche, soit directement, soit indirectement en poussant un percuteur.



Fig. 200. — Cartouche à percussion centrale.

### *Fusils de guerre* *Lebel.* — Le fusil *chassepot*

avec lequel la France soutint la guerre de 1870, et le fusil *Gras* qui lui succéda en 1874, ne tiraient qu'une balle par charge (charge en 12 temps); on s'ingénia ensuite pour accélérer le tir, à réaliser des armes à *magasin* ou à *répétition*, c'est-à-dire dans lesquelles on introduit en bloc un certain nombre de cartouches qui viennent successivement se placer dans la culasse du canon; elles sont ainsi toutes prêtes pour être tirées coup sur coup, sans qu'on ait besoin de recommencer chaque fois, dans l'opération de chargement, la longue manœuvre qui consiste à puiser dans la cartouchière: ce sont des fusils de cette nature qui sont adoptés actuellement par toutes les armées. En France, nos soldats ont dans les mains, depuis 1886, le fusil inventé par le colonel Lebel; le projectile est en bronze et son calibre, ou diamètre, est de 8 millimètres; la longueur est environ cinq fois le diamètre, de sorte que l'aspect rappelle celui d'un petit cigare (voir fig. 200). Malgré la faible masse de 12 gr. 8, et grâce à la vitesse initiale de 740 mètres par seconde, que lui communique une charge de 3 gr. 4 de poudre *sans fumée*, la puissance de pénétration est considérable et la trajectoire est assez tendue (c'est-à-dire assez peu courbe), pour que cette balle actuelle (ou balle D adoptée en 1904), étant tirée horizontalement, ne touche le sol qu'à une distance de 700 mètres environ, perforant tout ce qui se trouve sur son passage. La portée limite est de plus de 4 kilomètres. Ces

résultats sont sensiblement équivalents à ceux que procure la balle S de 10 grammes des Allemands, et même, tandis que la trajectoire de celle-ci offre, à 1000 mètres, une *flèche* de 5 m. 90, la trajectoire française ne montre qu'une flèche de 5 m. 40 à cette même distance, 42 mètres à 2000 mètres au lieu de 66 mètres pour les Allemands.

L'ensemble du fusil est représenté (fig. 201) avec la baïonnette que l'on peut fixer à l'extrémité du canon, par le moyen de deux tenons. Les autres parties principales sont :

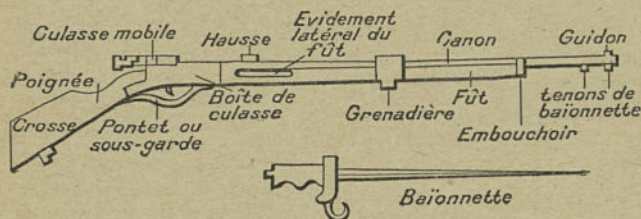


Fig. 201. — Vue d'ensemble du fusil Lebel.

le canon et sa culasse fixe, la culasse mobile, le mécanisme de détente, celui de répétition, la monture en bois ; celle-ci se composant de la *crosse*, de la *poignée* et du *fût* dans lequel est logé le canon. Sans la baïonnette, la longueur de l'arme est 1 m. 30 et son poids 4 kg. 48, pas beaucoup moindre, par conséquent, que le vieux fusil modèle de 1777 qui atteignait 4 kg. 4 et qui accompagna le drapeau tricolore dans ses glorieuses étapes à travers toute l'Europe.

Nous allons maintenant aborder la description succincte des parties les plus essentielles de ce fusil Lebel.

1<sup>o</sup> **Canon.** — Il est en acier et comprend deux parties, le canon proprement dit et la boîte de culasse (fig. 201). L'âme du canon porte quatre rayures intérieures, faisant chacune quatre tours par mètre de droite à gauche, et profondes d'environ un dixième de millimètre et demi ; une balle d'un métal aussi mou que le *plomb*, qui laisse une trace grise d'usure même sur le papier, aurait tôt fait de combler les rainures. On évite ce défaut par l'emploi d'un métal



plus cohérent, mais beaucoup plus coûteux : la balle Lebel D est en bronze, comme on l'a déjà dit. Dans le voisinage de la bouche, se trouvent deux *tenons*, pour fixer la baïonnette (fig. 201), et le *guidon* qui, concurremment avec la *hausse* placée près de l'œil, sert à définir la ligne de visée, selon la distance à atteindre. Dans le voisinage de cette hausse, on remarque un évidement latéral, pratiqué dans le fût en bois, et servant à caler l'arme dans la main gauche, au moment du tir, tandis que la crosse vient buter contre l'épaule droite et que la main de ce même côté se trouve à la sous-garde. L'extrémité postérieure du canon est creusée suivant une partie cylindrique B (fig. 202) plus élargie que l'âme : c'est la *chambre*, destinée au logement de la cartouche; la charge de poudre étant en B, la balle pénètre dans l'âme A, et le bourrelet du culot de douille dans l'espace appelé *tonnerre*, parce que c'est là qu'a lieu la détonation du fulminate, sous l'action du percuteur central.

La chambre porte extérieurement un pas de vis (non représenté) servant à réunir le canon à la *boîte à culasse* ou culasse fixe C, qui, elle-même est fixée solidement au fût. Cette boîte de culasse est, comme son nom l'indique, une cavité cylindrique, dans laquelle peut venir se loger un organe mobile appelé précisément *culasse mobile* dont nous allons maintenant parler.

2° **Culasse mobile.** — Elle se compose de deux organes principaux doués, l'un par rapport à l'autre, d'une certaine mobilité longitudinale : 1° le *cylindre creux* E dont l'extrémité antérieure porte le nom de *tête mobile*; 2° le *chien* D avec son *percuteur* P (fig. 202).

Le cylindre creux est muni, perpendiculairement à son axe, d'un levier et d'un bouton de manœuvre V, de sorte que cet organe fonctionne absolument comme un verrou de porte, d'où le nom de *verrou* qu'on lui donne souvent; il est creusé axialement d'une cavité cylindrique dans laquelle est logé un ressort en hélice (dit *ressort à boudin*) entourant lui-même la tige du percuteur; ce ressort est ainsi emprisonné entre le fond de la cavité du verrou et une protubérance circulaire, ou *embase*, que présente une certaine région du percuteur; la tige



de celui-ci est terminée antérieurement par une pointe P, tandis que, postérieurement, elle traverse le chien et vient s'insérer fixement dans le *manchon* de celui-ci. Le chien a la forme générale cylindrique, à part un *contre-fort* qui s'appuie et glisse sur le verrou, une *gorge* servant à la manœuvre au pouce, et inférieurement, deux entailles ou *crans d'armé* K et de *repos* K'.

Enfin la tête mobile du verrou porte encore une petite tige non représentée, dite *éjecteur* ou *extracteur* qui, au moment voulu, sous l'action d'un ressort, lance au dehors l'étui vide de la cartouche épuisée.

3° **Mécanisme de détente.** — Il a pour double but de tendre ou bander le ressort du percuteur, de façon que celui-ci soit prêt à se précipiter sur la cartouche, et, en même temps, à l'arrêter momentanément afin de laisser au tireur la faculté de viser.

Ce mécanisme se compose de trois pièces principales (fig. 202) : la pièce H dite *détente*, la *gâchette* G et son *ressort* R. Ces organes jouent le rôle de *leviers coudés* pouvant pivoter autour des axes respectifs *x* et *y*. Les mouvements de la détente résultant d'un accrochage accidentel sont évités par un entourage en forme d'anneau, dit *pontet* ou *sous-garde*.

4° **Fonctionnement.** — Avant d'aller plus loin, nous allons donner une idée du fonctionnement de l'arme qui, telle que nous venons de la décrire, se suffit déjà à elle-même.

A) Pour *armer*, c'est-à-dire pour disposer l'arme dans les conditions préalables nécessaires à l'envoi d'un projectile, on relève verticalement le levier V du verrou, lequel est habituellement rabattu horizontalement sur le côté droit ; puis on tire ce verrou à soi : tout l'ensemble de la culasse mobile glisse ainsi dans la culasse fixe et prend la position *arrière*, telle que la représente très approximativement la figure 202. Ceci fait, on introduit une cartouche dans l'ouverture béante de la culasse fixe, puis on referme le verrou ; celui-ci pousse à son tour la cartouche dans son logement, tandis que le chien, d'abord entraîné dans ce mouvement, est bientôt arrêté en route ; ceci provient de ce que ses crans K et K' viennent

successivement buter contre une saillie G, dite *tête de gâchette*; l'arrêt du chien entraîne celui du percuteur, qui lui

est lié, de sorte que, le cylindre creux ayant continué sa course, le ressort à boudin se trouve ramassé sur lui-même.

B) Pour tirer, c'est-à-dire pour faire partir le coup, l'index presse sur la *détente* H, ce qui amène la gâchette à obéir à l'action de son ressort R; la tête de gâchette G pivote alors légèrement, se dégage du *cran de l'armé* et met le chien en liberté; celui-ci projette avec force le percuteur dont la pointe vient frapper centralement la capsule, et le coup part.

C) Pour armer de nouveau, on ramènera, comme il a été dit, le verrou en arrière; c'est alors que la tige de l'éjecteur, sous l'action de son ressort, ressaute vivement et projette l'étui vide au dehors; on met en place une cartouche

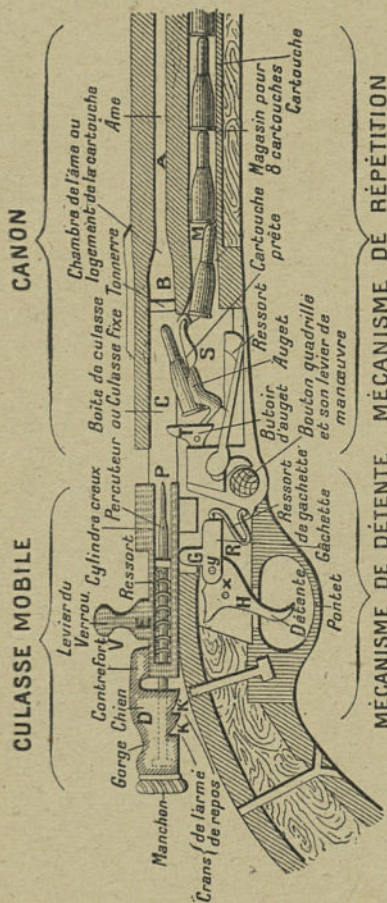


Fig. 302. — Fusil Lebel; détails du mécanisme.

neuve et l'on recommence la série des mouvements précédents.

5<sup>o</sup> **Mécanisme de répétition.** — Il a pour but d'éviter au tireur le mouvement relativement long d'introduction de la cartouche dans la culasse fixe. A cet effet, les cartouches, au nombre de huit, sont alignées dans un magasin tubulaire, placé longitudinalement sous le canon, où elles compriment un ressort à boudin. Sous la boîte de culasse fixe est placée une pièce en forme de gouttière S appelée *auget*, mobile autour d'un axe perpendiculaire à celui du canon, et disposée de façon à cueillir une cartouche lorsqu'en s'abaissant devant l'ouverture du magasin, cela permettra au ressort de celui-ci de se détendre partiellement; ce mouvement d'abaissement est provoqué par le retour du verrou dans la boîte de culasse, lorsqu'il vient rencontrer le *butoir d'auget* T et, qu'en même temps, il pousse à fond la cartouche qui est sur le point d'être tirée. Une fois le coup parti, le verrou étant ramené en arrière et l'éjecteur ayant expulsé l'étui vide, l'auget, avec sa charge, se relève sous l'action du *ressort d'auget* et place la nouvelle cartouche un peu obliquement dans la culasse fixe, où elle sera poussée à fond par le retour du verrou, tandis qu'une cartouche d'attente viendra se loger dans l'auget et ainsi de suite. Un *bouton quadrillé*, visible sur la figure, permet d'interrompre le chargement par le magasin, si l'on veut opérer à la main.

Il existe d'autres dispositions du magasin dans les armes à répétition; ce magasin peut être placé dans la crosse (fusil anglais), ou verticalement, en dessous de la boîte de culasse (fusil Mannlicher), etc. On a, en outre, imaginé des appareils appelés *chargeurs* destinés à remplir le magasin rapidement et en bloc.

**Fusils automatiques.** — On a cherché à augmenter encore la rapidité du tir, déjà accrue par la répétition, au moyen de l'*automatisme*, qui consiste à utiliser la force du recul pour actionner les divers mécanismes de *répétition* et d'*armé*, sauf celui de détente, bien entendu, de telle façon que le soldat puisse tirer, pour ainsi dire, à jet continu sans cesser d'épauler; il faut cependant que le temps accordé à la *visée* ne soit pas diminué, sous peine d'affaiblir la précision du tir.



On voit la différence qui existe entre l'automatisme complet de la *mitrailleuse* et le quasi-automatisme du fusil: on ne saurait, en effet, oublier que le poids total de l'arme ne doit pas dépasser quelque 4 kilogrammes, qu'il faut donc limiter le nombre des cartouches en magasin et laisser le temps au tireur de viser, si l'on ne veut pas que les munitions soient gaspillées en pure perte.

Le fusil automatique n'est pas encore en usage général dans les armées, vu son prix et l'absence d'avantages nouveaux conférés à la balle, au point de vue balistique. Nous nous contenterons donc de donner ultérieurement une idée de l'automatisme par la description du pistolet (voir Browning).

**Fusils de chasse.** — Les anciens fusils de chasse se chargeaient par la bouche, comme les armes militaires primitives. C'est l'armurier Lefaucheur qui imagina le fusil à *bascule*, dans lequel un système de deux canons parallèles peut pivoter autour d'un axe transversal et découvrir les orifices postérieurs des tubes, permettant ainsi de les charger par la culasse. On commença par utiliser des cartouches à broche (fig. 199). Actuellement, on n'emploie plus guère que la percussion centrale. Une fois l'arme chargée, on relève les canons et on les assujettit au moyen d'un système de fermeture à verrous, de façon à serrer fortement la culasse contre la crosse.

L'intérieur de l'âme est lisse. Si l'on tire, non à balle, mais avec des petits grains de plomb entassés comme le montre la figure 199, on n'obtient qu'un essaim de projectiles éparpillés qui couvrent une surface assez grande, propice aux tireurs mal



Fig. 203. — Canon choke-bored.

habiles sur un but fugitif ou de faible surface. Cependant, si l'on veut resserrer le flux des grains de plomb en un faisceau plus étroit et, par suite, plus meurtrier, on emploie un canon *choke-bored*; dans ce système, l'âme est cylindrique sur la plus grande partie de sa longueur, puis, quelques centimètres avant la bouche, elle se rétrécit coniquement et se termine enfin par une petite longueur cylindrique étroite (fig. 203): les grains sont ainsi mieux rassemblés.

**Pistolets.** — Il existe des pistolets simples à une seule balle, comme un fusil ordinaire, mais, généralement, l'appareil est à répétition; il comporte un magasin contenant une demi-douzaine de balles au moins. Un système qui a été longtemps en faveur est le revolver (d'un mot anglais,

*to revolve*, qui veut dire *tourner*). Le magasin se compose d'un cylindre d'assez

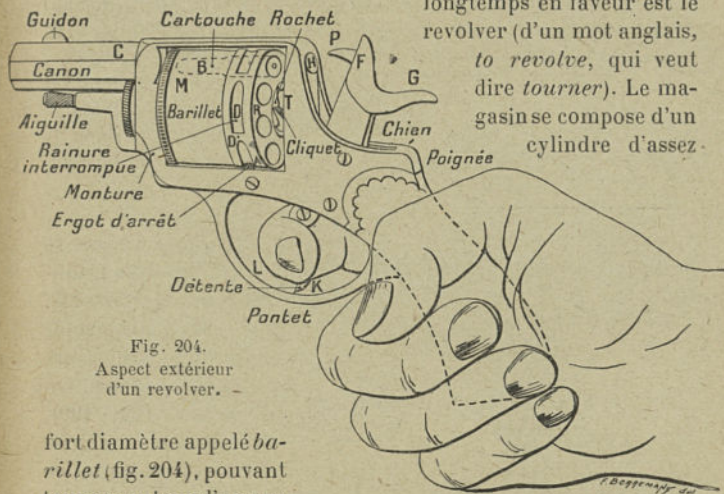


Fig. 204.  
Aspect extérieur  
d'un revolver. —

fort diamètre appelé *barillet* (fig. 204), pouvant tourner autour d'un axe situé parallèlement et un peu en dessous du canon. Ce barillet est percé, de part en part, de six ouvertures cylindriques dans chacune desquelles on peut glisser préalablement une cartouche à percussion centrale. En appuyant, avec l'index, sur la détente K, on provoque l'apparition des divers mouvements suivants :

1<sup>o</sup> La *rotation* du barillet de un sixième de tour, ce qui a pour effet d'amener une des cartouches juste en face du canon d'une part, et d'autre part, à portée de l'action du chien; cette rotation s'effectue sous l'action d'un doigt métallique, ou *cliquet* T, poussant une des six dents d'une petite couronne dentée ou rochet R.

2<sup>o</sup> La *fixation* du barillet par le surgissement d'un ergot A,





de détente, laquelle fait bouger la main, et par la faible longueur du canon ; la portée est amoindrie par l'affaiblissement de force expansive des gaz de la poudre, résultant des fuites qui se produisent dans l'intervalle compris entre le barillet et l'âme du canon.

**Pistolets automatiques.** — Comme pour les fusils, l'automatisme consiste à faire exécuter, par la force de réaction du recul, les diverses opérations d'ouverture et de fermeture de la culasse, le chargement de celle-ci et enfin l'expulsion de la cartouche vide. Dans tous les systèmes existe, comme dans le canon de 75 à frein hydro-pneumatique, un organe destiné à absorber l'énergie de recul et à

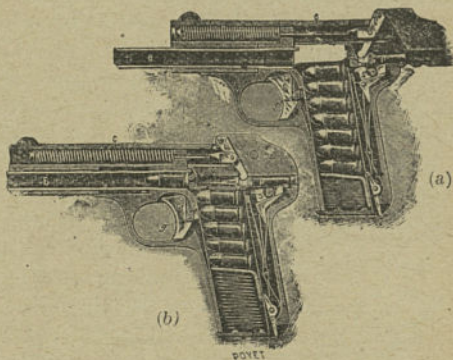


Fig. 206. — Pistolet automatique le « Browning ». (a) recul de la culasse et compression du ressort récupérateur ; retour automatique de toutes les pièces mobiles.

la restituer ensuite, en l'utilisant à la mise en marche du mécanisme. Ici cet organe est un *ressort récupérateur*, visible en *r* (fig. 206) et qui, au départ du coup, se trouve comprimé par la projection en arrière de la culasse sous l'action du recul (fig. a). La culasse est ensuite ramenée en avant par la détente du ressort et provoque tous les mouvements nécessaires d'*éjection* de l'étui vide et de chargement de la nouvelle cartouche. Une fois le tout remis en place (fig. b) il n'y a plus qu'à appuyer *très légèrement* sur la détente G, ce qui se fait sans effort sensible et sans déranger le pointage, et le coup part derechef. Tel est le fonctionnement du *Browning*, qui est un des modèles de ce genre les plus répandus maintenant, tant

en raison de sa précision et de son automatisme, que de la commodité qui résulte de sa forme aplatie.

**Notions sur la fabrication des armes à feu portatives.** — A) Fusil de guerre. — Le canon s'obtient en partant d'une barre de bon acier que l'on forge à chaud, pour lui donner du nerf, et que l'on soumet ensuite à l'opération du *forage*, pour creuser l'âme; l'intérieur de celle-ci est ensuite régularisé par un *alésage* rigoureux, puis *rayé* au moyen d'une machine-outil spéciale. Les autres pièces détachées du mécanisme s'obtiennent en série, pour l'interchangeabilité, et sont par conséquent fabriquées au moyen de fraiseuses et de machines-outils particulières. Il en est de même de la monture en bois.

B) Fusils de chasse. — Les canons de fusils ordinaires se fabriquent économiquement, sans la *grande perte d'acier qu'amène le forage*, par le procédé d'enrubanage, qui consiste



Fig. 207. — Enrubanage d'un canon de fusil de chasse ordinaire.

à enrouler un ruban de fer ou d'acier, chauffé au rouge et pâteux, sur un tube de tôle mince servant de mandrin (fig. 207), on reporte ensuite au rouge et on martèle le canon, pour bien souder les spires contiguës de ce ruban hélicoïdal. Ensuite, après refroidissement, on *fore* l'intérieur de manière à

enlever le tube-mandrin en tôle; l'extérieur est égalisé à la meule, l'intérieur est alésé, et deux canons semblables sont réunis soit par brasage à soudure forte, ou mieux à brasure faible qui déforme moins les tubes.

Les canons de luxe, plus coûteux, sont taillés et forés à même une barre d'acier de première qualité, comme les armes militaires.

Enfin, avant d'être livrée à l'usage ou au commerce, toute arme à feu est soumise, tant en cours qu'en fin de fabrication, à une série d'essais méthodiques et rigoureux, qui ont pour but d'en garantir la qualité de résistance et la sécurité.

## L'AÉROPLANE ET SON MOTEUR

L'aéroplane est la plus belle conquête de la mécanique et l'une des manifestations les plus évidentes du progrès humain. Il y a donc une utilité certaine à exposer le principe de cette admirable invention.

Les parties essentielles d'un aéroplane sont la voilure et le moteur, puissance animatrice qui entraîne la première et lui

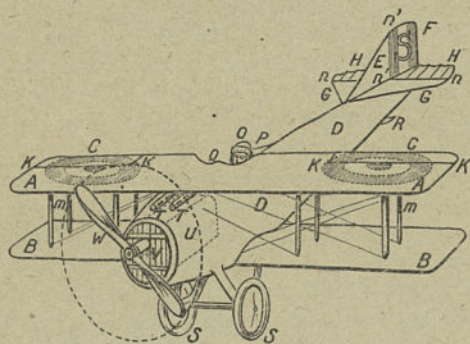


Fig. 208. — Avion de chasse, dit Spad, à deux mitrailleuses.

permet de se maintenir en prenant appui sur l'air. C'est qu'en effet l'*avion ne se soutient qu'en avançant* ; aussi est-ce surtout par le moteur que vaut l'appareil ; il est néanmoins nécessaire, pour faire comprendre son rôle, de décrire la voilure, ou *cellule*, et exposer le principe de la sustentation et de l'avancement.



## I. LA CELLULE

**Description.** — La voilure, ou surface portante, est formée soit d'une seule aile (appareil *monoplan*), soit plutôt, comme on le fait de plus en plus maintenant, de deux plans superposés, distants l'un de l'autre, constituant ce que l'on appelle la cellule du *biplan*.

Il existe de nombreux types d'appareils. Pour fixer les idées, nous prendrons comme exemple un avion de chasse, le *Spad*, représenté en perspective figure 208. C'est un biplan dont les ailes AA, BB sont réunies par des montants croisillonnés au moyen de fils d'acier tendus, de façon à assurer la rigidité de l'ensemble. On aperçoit en CC, au bord arrière de l'aile supérieure AA, les *ailerons*, mobiles à la façon d'un volet autour des charnières KK, KK, et qui entrent en jeu dans les *virages*, comme nous l'expliquerons par la suite. Ces ailerons sont actionnés par des bielles de commande *mm*.

La cellule est solidaire du bâti DD, ou corps de l'appareil, dans lequel prennent place le pilote O, le moteur U et son radiateur V. Lorsque l'hélice W est ainsi placée en avant, elle *tire* sur l'appareil et est dite alors *tractive*, ou à traction.

On voit en TT deux mitrailleuses tirant dans l'axe de l'appareil (hautes conditions de précision); P est l'appui tête, Q le pare-brise. Ces mitrailleuses lancent leurs projectiles à travers le cercle décrit par l'hélice, sans toucher les *pales* de celle-ci, grâce à un ingénieux mécanisme de synchronisation avec le moteur; celui-ci commande à la fois l'hélice et le rythme des mitrailleuses de telle façon que le jet des balles est momentanément interrompu pendant le temps très court que met une pale à passer devant les tubes TT.

A l'arrière du corps, nous apercevons l'*empennage* horizontal GG avec le *gouvernail de profondeur*, ou *stabilisateur* HH, qui lui fait suite, et peut s'élever ou s'abaisser en tournant autour de la charnière *nn*; puis le *plan de dérive* E et le *gouvernail de direction* F, qui lui fait suite et peut obliquer à droite ou à gauche en tournant autour de la charnière

verticale  $nn'$ . Le rôle de toutes ces gouvernes sera indiqué plus loin.

Il faut enfin prévoir des organes de contact avec le sol ; ce sont : le *châssis d'atterrissage* SS, sorte de cadre supportant deux roues à jante pneumatique, et la *béquille* R.

Le corps DD, qui contient tous les organes et est lié aux ailes, est formé par un assemblage de longues pièces de bois horizontales ou *longerons*, réunies par des pièces verticales, ou *montants*, et par des traverses, le tout *entretoisé*<sup>1</sup> et croissillonné par des fils d'acier. Cet ensemble est analogue à la carlingue d'un navire et prend parfois ce nom : il possède les propriétés de résistance de ce que l'on appelle en mécanique une *poutre armée*.

Autrefois, cette carlingue demeurait telle quelle, ajourée et visible, comme le montre la figure 209, qui représente un type de biplan à hélice

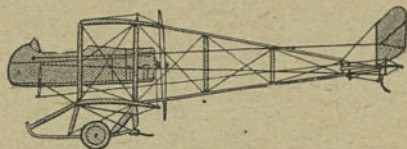


Fig. 209. — Type d'avion sans fuselage 1915.

arrière, ou *propulsive*, c'est-à-dire qui agit comme celle d'un bateau, en poussant le système. On a reconnu, par la suite, qu'il y avait avantage, en vue de diminuer la résistance que l'air oppose à l'avancement, à enfermer tout ce réseau de tiges, de poutres et de fils dans une mince enveloppe de toile imperméabilisée et lissée, formant alors comme une *carène* de vaisseau, ou un *fuselage*, à cause de sa forme allongée comme celle d'un fuseau, ou encore comme le corps d'un poisson (profil *pisciforme*) ; c'est ce



Fig. 210. — Type d'avion avec fuselage 1917.

que montre la figure 210, qui représente un biplan à hélice avant.

1. Une entretoise est une pièce, une tige, qui en réunit plusieurs autres pour en former un tout résistant de forme invariable.

On a même été plus loin dans cette voie en constituant la carène par une mince coque de bois formée de plusieurs épaisseurs contreplaquées, à fibres contrariées et très résistantes, ce qui simplifie ou supprime même toute l'armature intérieure.

**Sustentation et vol horizontal. Forces en jeu.**

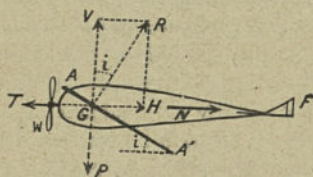


Fig. 211. — Analyse des forces qui entrent en jeu dans le vol horizontal d'un avion.

— 1<sup>o</sup> Supposons l'appareil plongé dans l'air, à une certaine hauteur, l'hélice tournant à grande vitesse. Simplifions les données du problème en supposant les ailes absolument planes et en les remplaçant par un seul plan AA' (figure 211) de surface double, placée au milieu G de leur

intervalle. Tout ce qui est lourd est en avant et l'ensemble a son centre de gravité peu éloigné de G et qui peut être confondu avec lui en première approximation.

Lorsqu'un corps se meut dans l'air, il est obligé d'écarter les molécules d'air qui se trouvent devant lui, exactement comme doit le faire quelqu'un qui veut se frayer un passage à travers la foule. Il en résulte que l'air oppose au mouvement des corps une résistance d'autant plus grande que la surface du corps est plus étendue et que la vitesse de pénétration est plus considérable.

On a fait des mesures sur ce sujet et l'on a trouvé que cette résistance est une force normale (c'est-à-dire perpendiculaire) à la surface plane, proportionnelle à l'aire, ou étendue, de cette surface, et proportionnelle aussi au carré de la vitesse, c'est-à-dire que, si la vitesse devient double, triple..., la résistance devient quadruple, nonuple...<sup>1</sup>.

Ce qui précède suppose que la surface plane se déplace en restant perpendiculaire au mouvement. Mais, dans le cas de l'aéroplane, le plan AA' (figure 211) n'est pas perpendiculaire

1. C'est ce qu'exprime la formule  $R = KSV^2$ , en représentant par R la résistance de l'air, S l'aire de la surface frappée, V la vitesse et K un facteur constant de proportionnalité.



au déplacement; il fait, avec la direction de celui-ci, un angle  $i$  appelé *incidence*, ou angle d'attaque, qui est de quelques degrés seulement. Dans ces conditions, la poussée de l'air est encore une force  $R$  perpendiculaire à  $AA'$  et appliquée en un point appelé *centre de poussée*, qui est plus près du bord d'attaque  $A$ , ou bord frappé d'abord par le vent, que du bord de fuite  $A'$ . La valeur de cette poussée  $R$  varie naturellement avec l'incidence  $i$ ; elle lui est sensiblement proportionnelle pour les faibles valeurs pratiques de  $i^2$ .

Pour l'observateur placé dans l'appareil, tout se passe comme si celui-ci était immobile et qu'il soit frappé par l'air venant en direction opposée, d'où le nom de *vent relatif* donné à ce mouvement fictif de l'air. Dans tous les cas, qu'il s'agisse d'un déplacement horizontal ou non et en supposant l'air calme (absence de vent réel), le vent relatif est toujours dans la direction opposée à la translation de l'aéroplane.

2<sup>o</sup> Le mouvement de rotation de l'hélice détermine l'apparition d'une force  $T$  dans le sens de l'axe de l'appareil et dirigée de l'arrière à l'avant. Il peut se faire qu'il y ait deux hélices, comme dans le grand avion de bombardement allemand (Gotha).

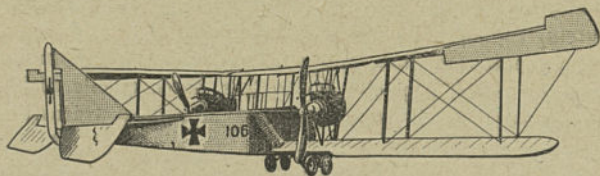


Fig. 212. — Grand avion de bombardement allemand, dit *Gotha*; bimoteur, deux hélices arrière.

que représente la figure 212; l'appareil est alors bi-moteur: les deux hélices sont ici à l'arrière et leurs effets s'ajoutent, se composent en une seule force  $T$  appliquée au milieu de leur intervalle; on est donc ramené au cas précédent.

3<sup>o</sup> Le poids de tout l'appareil y compris le personnel et la charge utile emportée, est une force verticale  $P$  appliquée au centre de gravité  $G$  de tout le système.

1. On a très sensiblement  $R = KSV^2 \sin i$ .

4° Enfin, l'air, outre la poussée utile sur les ailes, oppose encore une résistance contre tout ce qui n'est pas la voilure : bâti, haubans, surfaces de gouverne, train d'atterrissage, moteur, pilote... Toutes ces résistances partielles se totalisent en une seule, dirigée d'avant en arrière, que nous représenterons par N. Cette résistance est dite *nuisible*, parce qu'elle tend à retarder l'avion en absorbant une partie de la puissance du moteur, sans produire aucun effet utile de sustentation.

**Analyse des effets des forces en jeu.** — La mécanique nous enseigne qu'une force quelconque peut toujours être remplacée par deux autres convenablement choisies, que l'on appelle ses *composantes*. C'est ainsi que la force R (fig. 214) peut être supprimée à la condition de lui substituer sa composante horizontale H et sa composante verticale V; l'effet simultané de H et V est le même que celui de R seule, et cela en vertu de la règle dite du parallélogramme des forces<sup>1</sup>. En aérostation, on a adopté les désignations suivantes :

a) La composante verticale GV, ou plus simplement V tout court (V représentant le nombre de kilogrammes qui mesure l'intensité de cette composante) s'appelle la *poussée verticale*, ou abrégativement *poussée*, parce qu'elle tend à soulever, à soutenir l'appareil en faisant échec au poids P;

b) La composante horizontale GH, ou simplement H (nombre de kilogrammes), s'appelle la *traînée*, parce qu'elle résiste à l'avancement de la voilure, comme si celle-ci traînait une résistance derrière elle.

Nous avons ainsi ramené notre système de forces à deux groupes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{un groupe vertical} : \text{ poids } P \downarrow \text{ et poussée } V \uparrow ; \\ \text{un groupe horizontal} : \text{ traction } T, \text{ traînée } H, \text{ résistance nuisible } N. \end{array} \right.$$

←-----→

Au début, lorsque l'appareil repose sur le sol et que l'on met

1. Rappelons qu'une force est représentée par une portion de droite, ou *segment*, dirigée dans le sens d'action de la force et ayant une longueur proportionnelle à l'intensité ou grandeur de cette force, en choisissant à volonté une échelle de représentation.

l'hélice en mouvement, la force de traction  $T$  qu'elle développe ne rencontre qu'une opposition insensible, les résistances  $H$  et  $N$  étant faibles : tout l'ensemble, tiré par  $T$ , se déplace alors sur le sol comme un véhicule ordinaire, mais avec une vitesse croissante : lorsque celle-ci est suffisante, la poussée  $V$  devient égale au poids  $P$ , puis la dépasse, et l'appareil quitte le sol (on dit aussi, en terme d'atelier, qu'il *décolle*); nous analyserons plus loin les forces qui agissent à la montée. Arrivé à une certaine hauteur, on peut cesser de monter par une manœuvre convenable du gouvernail de profondeur, qui modifie l'incidence  $i$  (voir plus loin); lorsqu'il en est ainsi, l'appareil ne montant ni ne descendant et gardant une vitesse constante, c'est que les forces arrivent à s'équilibrer dans chaque groupe, savoir :

1<sup>o</sup> Dans le sens vertical, la poussée équilibre le poids, ce qu'on écrit  $V = P$ ; c'est le vol horizontal. Tel est tout le secret de la sustentation du *plus lourd que l'air*, dont quelques esprits forts de jadis niaient véhémentement la possibilité. Ainsi, un avion ne se *soutient en l'air* qu'à la *condition d'avancer suffisamment vite*; il arrive à porter 30, 40 et même 50 kilogrammes par mètre carré de voilure.

2<sup>o</sup> Dans le sens horizontal, la traction  $T$  équilibre la trainée  $H$  et la résistance nuisible  $N$ , ce qu'on écrit  $T = H + N$ ; c'est le mouvement uniforme, c'est-à-dire à vitesse constante, conséquence du principe de l'inertie; tout se passe comme si le système n'était soumis horizontalement à aucune force (puisqu'elles s'équilibrent) : la force motrice  $T$  a pour effet de compenser, à chaque instant, la perte de vitesse<sup>1</sup> que tendraient à produire les forces résistantes  $H$  et  $N$ . Pour que la vitesse augmente à un moment donné, il faut que  $T$  surpasse la somme  $H + N$ .

**Influence de l'incidence. Montée et descente.** —

Les ailes étant d'abord inclinées suivant  $AB$  (figure 213) et faisant, avec le mouvement de translation ou vent relatif (en air

1. Et d'énergie cinétique, ou demi force vive,  $\frac{1}{2} mV^2$ .



calme), l'angle  $i = 6^\circ$ , par exemple, supposons que, par un moyen approprié, nous venions à leur donner la position  $A'B'$  correspondant à une incidence plus considérable  $i' = 9^\circ$ . La résistance de l'air, qui était d'abord  $R$ , prend la valeur plus

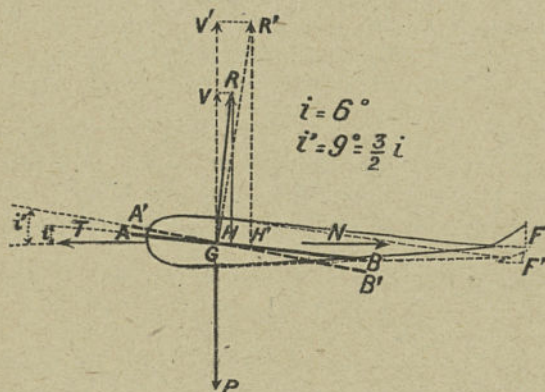


Fig. 213. — Influence de l'incidence sur la montée ou la descente de l'avion, celui-ci s'élève davantage si l'incidence  $i$  prend une valeur plus grande  $i'$ .

grande  $R' = \frac{3}{2}R$ , parce qu'elle est sensiblement proportionnelle à l'incidence <sup>1</sup>. Ainsi, la réaction de l'air est changée en *grandeur* et en *direction*; il en est de même de ses composantes: la composante verticale  $V$  devient  $V'$  sensiblement égale à  $\frac{3}{2}V$  (par suite de la faible inclinaison de  $V'$  et  $V$  sur cette verticale); la trainée  $H$  change relativement plus, elle devient  $H' = \frac{9}{4}H$ , c'est-à-dire plus du double <sup>2</sup>.

1. C'est ce que montre la formule  $R = KSV^2 \sin i$ ; pour de faibles valeurs de l'angle  $i$ , le sinus est proportionnel à l'angle.

2. Ces résultats peuvent s'établir en se basant sur la formule très suffisante en pratique  $R = KSV^2 \sin i$ . Il est facile de voir que l'on a

$$V = R \cos i = KSV^2 \sin i \cos i = \frac{K}{2} SV^2 2 \sin i \cos i = \frac{K}{2} SV^2 \sin 2i$$

puis

$$H = R \sin i = KSV^2 \sin^2 i.$$

Il se produit bien encore un autre changement consistant dans le déplacement du centre de poussée de l'air, qui quitte le point précédent G, mais nous conviendrons ici de négliger cette perturbation.

De ce qui précède, il résulte que : 1<sup>o</sup> au premier moment du changement d'incidence, l'avion qui possède une grande vitesse acquise s'élève, puisque la poussée V, qui était d'abord égale à P, lui devient supérieure en prenant la valeur  $V' = \frac{3}{2} V - \frac{3}{2} P$ . — 2<sup>o</sup> La traînée fait plus que doubler, d'où résulte par la suite un ralentissement progressif de la vitesse de l'avion. Ainsi, quand l'avant de l'appareil se trouve relevé, la sustentation augmente et l'aéroplane monte, mais tend à ralentir, ce qui exige que le moteur ait la puissance suffisante pour compenser cet effet.

Tel est le procédé qui permet de monter : augmenter l'incidence ; comment le réaliser ? C'est par la manœuvre d'un organe appelé *gouvernail de profondeur* ou d'alti-

tude, qui consiste en un panneau ou volet HH, placé souvent en queue de l'appareil (figure 214) et mobile autour d'une charnière horizontale *nn*. Supposons ce panneau d'abord couché dans le lit du vent relatif horizontal ; le pilote, agissant sur une commande placée à portée de sa main, lui donne une inclinaison vers le haut (figure 214) ; il en résulte immédiatement la production d'une poussée Q, normale à H, qui va avoir pour effet d'abaisser l'arrière de l'appareil et de relever l'avant, de sorte que les ailes passeront de la position AB à celle A'B', d'incidence plus grande, et l'avion montera.



Fig. 214. — Manœuvre du gouvernail de profondeur. Si celui-ci, d'abord couché suivant H' dans le lit du vent relatif, vient à être relevé en H, les ailes prennent la position A'B' et l'avion monte.

1. Dans une aile plane, le centre de poussée est toujours en avant du centre géométrique et d'autant plus près du bord d'attaque que l'incidence est plus faible. Il en est différemment pour une aile courbe.

L'exagération de la manœuvre aurait pour résultat de faire *cabrer* l'aéroplane et, par suite de la valeur trop grande de l'incidence, de diminuer brusquement la poussée  $V$  en l'amenant à une valeur inférieure au poids  $P$ , d'où chute <sup>1</sup>.

La manœuvre inverse du gouvernail de profondeur fait baisser l'avant (on dit qu'il *pique du nez*), d'où diminution de  $R$  et de  $V$ , ce qui produit la descente ; ici encore il faut éviter l'exagération de la manœuvre.

REMARQUE. — Lorsque le gouvernail de profondeur est, comme nous l'avons supposé, placé à l'arrière, son effet est qualifié de *régressif*, c'est-à-dire qu'il s'atténue au fur et à mesure que le gouvernail vient se placer en  $H'$  dans le vent relatif, où son influence devient nulle. Au contraire, placée en avant de l'avion, cette influence deviendrait de plus en plus grande, comme il serait facile de le constater sur une figure, au fur et à mesure que l'avant se relèverait ; le gouvernail serait alors *progressif*, son efficacité serait plus marquée mais conduirait facilement au cabrement.

**Empennage et stabilité longitudinale.** — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé l'air calme, mais des coups de vent, des remous sont possibles qui viennent déranger accidentellement l'équilibre dans le sens longitudinal. Il est indispensable de parer à ces perturbations fréquentes en *stabilisant* l'équilibre <sup>2</sup>, c'est-à-dire en le rattrapant quand il s'échappe. Ce rattrapage peut-être *commandé* ou bien, au contraire, *automatique*. Dans le premier cas, c'est le pilote lui-même qui intervient dans chaque cas en manœuvrant convenablement le gouvernail de profondeur, le relevant si l'appareil tend à piquer, l'abaissant s'il tend à se cabrer ; ceci explique pourquoi ce gouvernail prend encore le nom d'*équilibreur* ou

1. D'après  $V = \frac{K}{2} SV^2 \sin 2i$ , le terme  $\sin 2i$  diminue quand  $i$  dépasse 45 degrés, mais c'est surtout par la diminution de vitesse  $V$  due à la valeur brusquement plus grande de la traînée  $H$ , que la force portante devient insuffisante.

2. Rappelons qu'en mécanique l'équilibre est dit *stable* lorsque, étant faiblement dérangé, il se rétablit de lui-même : c'est la stabilité que nous qualifions plus loin d'*automatique*.



*stabilisateur*. Dans le second cas, on adapte à l'appareil un dispositif qui corrige automatiquement les *faibles* oscillations sans que le pilote ait à intervenir : ce dispositif est l'*empennage* constitué par une petite voilure fixe G (figure 215) couchée dans le vent relatif et n'agissant pas en vol normal mais faisant



Fig. 215. — Equilibreur G, ou queue stabilisatrice, assurant la stabilité longitudinale, c'est-à-dire rattrapant les perturbations accidentelles d'équilibre en mouvement horizontal.

naître, en cas d'oscillation de ABG en A'B'G', une réaction aérienne S qui tend à ramener l'appareil à sa position primitive. La stabilisation dans le sens horizontal est donc obtenue

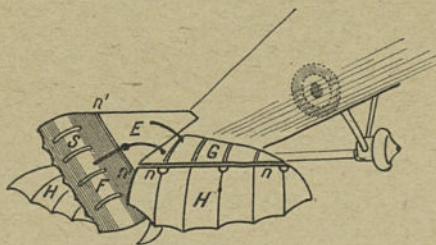


Fig. 216. — Perspective des gouvernails du Spad.

d'elle-même au moyen de cet empennage horizontal qui joue ainsi le rôle de *queue stabilisatrice*.

RÉSUMÉ. — La stabilité longitudinale est obtenue par deux organes :

}	empennage horizontal (organe fixe) . . . . .	stabilité automatique
	gouvernail de profondeur (organe mobile). . . . .	{ stabilité commandée montées, descentes.

La figure 216 représente la vue perspective de l'arrière du spad dont nous connaissons déjà l'ensemble par la figure 208. On voit en G la partie de droite de l'empennage horizontal, en HH le gouvernail de profondeur dont les deux volets sont abaissés par rotation autour des charnières *n n*.

**Forces entrant en jeu à la montée.** — Nous supposons, pour simplifier, l'empennage et le gouvernail de profondeur couchés dans le lit du vent relatif, donc sans action. Nous pouvons décomposer de plusieurs manières les forces qui entrent en jeu, selon les directions choisies pour effectuer cette décomposition. On peut adopter la marche suivante (fig. 217) ;

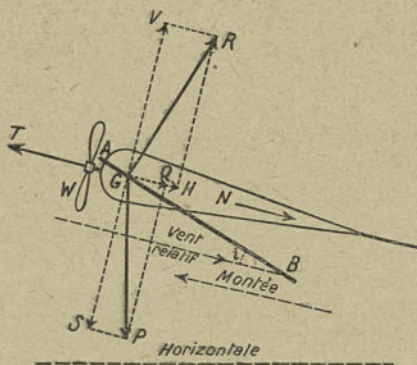


Fig. 217. — Analyse des forces entrant en jeu à la montée. Ces forces sont projetées ici parallèlement et perpendiculairement au sens du mouvement.

nous projetons toutes les forces parallèlement, puis perpendiculairement au mouvement, ou vent relatif : la réaction *R* de l'air fournit par la poussée *V* (qui n'est plus verticale, ici) et la traînée *H* (non horizontale, ici) ; le poids *P* se décompose suivant *Q* (composante tangentielle) et *S* (composante normale). Et nous disons :

1° Le système n'a pas de mouvement perpendiculairement à sa trajectoire, c'est donc que les composantes normales à celle-ci s'équilibrent, ce qui s'écrit  $V = S$  ;

2° La montée s'effectue en mouvement uniforme, c'est donc que la traction  $T$  de l'hélice équilibre la somme des composantes dirigées en sens inverse : trainée, résistance nuisible et composante tangentielle du poids, ce qui s'écrit  $T = H + N + Q$ . Il résulte de là qu'en montée, la traction de l'hélice doit s'augmenter de la composante  $Q$  du poids et doit être plus grande qu'en vol horizontal, à vitesse égale.

On pourrait analyser ce cas en choisissant d'autres axes, une verticale et une horizontale, etc.

**Plafond de l'appareil.** — Si l'air gardait une pression et une température constantes, rien ne s'opposerait à ce que l'avion atteignît telle altitude aussi élevée qu'on le voudrait ; mais, par suite de la diminution constatée de la pression et de la température, la puissance du moteur va en s'affaiblissant<sup>1</sup>, la traction  $T$  diminue ; il en est de même de la résistance  $R$  de l'air pour une double raison, d'abord parce que la vitesse de l'avion devient plus petite et, en second lieu, parce que la densité de l'air décroît. Ces diverses raisons font que la force portante de la voilure a une limite et, celle-ci une fois atteinte, l'appareil rencontre son *plafond*, c'est-à-dire l'altitude maxima à laquelle il peut prétendre en raison de son moteur, de son poids et de sa voilure.

Certains appareils lourds, les Gothas de bombardement, par exemple, qui ont deux moteurs de puissance totale 540 chevaux et 100 m<sup>2</sup> de voilure, ont leur plafond vers 3.500 — 4.000 mètres qu'ils mettent près d'une heure à atteindre, en comprenant le temps nécessaire au rassemblement de l'escadrille. Leur poids, avec toute la charge y compris 600 kg de bombes, est d'environ 3.500 kg., soit 35 kg par m<sup>2</sup> de voilure.

Au contraire, un appareil léger, un avion de chasse comme le Spad français, ou l'Albatros allemand, avec une voilure qui n'est que le quart de la précédente en surface, et un moteur

1. L'affaiblissement de la pression a pour effet de diminuer la *quantité* d'oxygène aspirée par le moteur à chaque cylindrée, et aussi la *vitesse* de cette aspiration. La chute de température en altitude peut atteindre 25 à 30 degrés, elle affaiblit la volatilité de l'essence et nuit, par conséquent, au fonctionnement du carburateur.



trois fois moins puissant, mais n'ayant qu'une faible charge à soulever, atteint en une demi-heure un plafond de 6000 mètres d'où il peut dominer l'avion de bombardement, tant au point de vue de l'altitude que de la vitesse. C'est par l'excédent de puissance et de poussée par rapport au poids soulevé que l'on peut obtenir une ascension rapide.

**Descente planée.** — Un planeur est un système (oiseau,

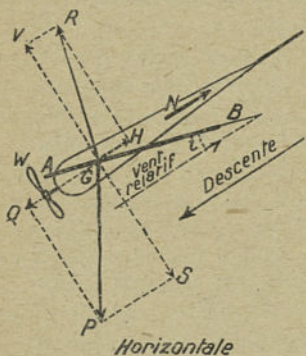


Fig. 218. — Analyse des forces entrant en jeu dans la descente planée.

avion) qui, par le fait même de sa descente, progresse obliquement dans l'air, sans faire intervenir aucune puissance motrice : oiseau (ailes immobiles), avion (moteur arrêté). La figure 218 indique les forces qui interviennent dans la descente planée. Le moteur étant à l'arrêt, la force T n'existe plus ; la poussée V et la composante normale S du poids s'équilibrent perpendiculairement à la trajectoire de descente ; dans le sens de

celle-ci, nous trouvons la traînée H et la résistance nuisible N, équilibrées ou surmontées par la composante tangentielle Q du poids P, laquelle joue en quelque sorte le rôle de force motrice.

**Atterrissage.** — Question délicate — provoque souvent un accident grave, si elle est mal résolue. Il faut, au moment voulu, savoir redresser l'appareil qui piquait du nez et prendre contact avec un bon sol, pas trop mou, le moins brusquement possible. Le train d'atterrissage porte des dispositifs amortisseurs.

**Changement de direction. Virage.** — Le virage est un changement de direction dans le sens horizontal effectué progressivement le long d'une courbe ; on l'obtient par la manœuvre du gouvernail de direction et des ailerons. Le pre-

mier de ces organes est une surface plane verticale F, placée à l'arrière (figure 208) mobile autour d'une charnière verticale  $n' n'$ ; son rôle déviateur est analogue à celui que joue le gouvernail d'un navire et, en s'en tenant à cette comparaison qui est légitime, on serait tenté d'assimiler complètement le virage d'un aéroplane à celui d'un bateau, ce qui serait pour le moins insuffisant. Pour éclairer ce sujet un peu délicat, nous dirons d'abord quelques mots sur l'inertie, la force centripète et la force centrifuge, nous analyserons sommairement ce qui se passe dans un virage d'automobile ou de navire, et enfin nous aborderons le cas de l'aéroplane.

(a) **Inertie.** — Un corps ne peut pas, de lui-même, modifier son état de repos ou de mouvement. Si donc rien n'agit sur lui, il reste immobile, ou encore, s'il a été lancé, il se meut en ligne droite d'un mouvement uniforme.

Pour modifier la direction ou l'allure de ce mouvement, il faut l'intervention d'une force.

(b) **Force centripète, force centrifuge.** — Je fais tourner une fronde (figure 219); la pierre, abandonnée à elle-même, suivrait la droite

AB, tangente à la courbe; c'est ce qui arriverait si je coupais la corde; la tendance naturelle de cette pierre est donc d'être en B au lieu de C sur le cercle, d'où une contrainte produite par la corde qui tire avec une force F dite centripète; la pierre, gênée, résiste, réagit, en tirant à son tour sur la corde, d'où naissance d'une réaction  $F'$  égale et opposée à F et dite force centrifuge.

**Expérience.** — Enfilons sur la corde un petit carton D percé d'un trou et faisons tourner la fronde; nous constatons que D s'éloigne de la main (centre O) et vient s'appliquer sur la pierre.

**Observation.** — Quand une voiture vire brusquement,

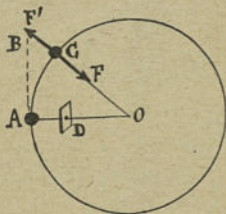


Fig. 219 — Fronde, ou corps en rotation autour d'un axe O. Nécessité d'une force centripète F et existence d'un effet centrifuge d'inertie  $F'$ , appelée communément force centrifuge.

les voyageurs sont projetés contre la paroi opposée au centre du virage : ils sont centrifugés.

REMARQUE. — L'effet centrifuge n'est qu'une conséquence de l'inertie de la matière contrariée dans sa tendance au mouvement rectiligne. En coupant la corde, la contrainte disparaît et l'effet centrifuge s'annule aussitôt.

**Principe fondamental.** — Pour forcer un corps à décrire un virage il faut non seulement le lancer, ce qui n'exige pas l'action continuelle d'une force, mais encore lui appliquer constamment une force déviatrice centripète.

(c) **Virage d'une automobile. Dérapage.** — Sur

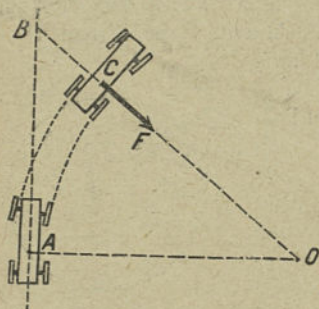


Fig. 220. — Virage d'une voiture automobile ; naissance d'une action centripète F, par la manœuvre du volant. Sur piste glissante, dérapage suivant C B.

une piste rugueuse, supposons une voiture suivant à grande allure la direction AB (figure 220) ; pour virer à droite, nous tournons le volant de direction de façon à obliquer les roues antérieures vers la droite ; la voiture, au bout d'un instant, se trouve en C, ayant tourné autour d'un axe vertical projeté en O. La force centripète F, capable de faire échec à l'effet centrifuge, n'est pas autre chose que le frottement transversal que les pneumatiques éprouvent sur le sol

rugueux ; car si la voiture étant supposée immobile, vous conceviez le projet bizarre de la pousser de côté, de C en B, à l'instar de la démarche d'un crabe, vous ressentiriez une rude résistance !

Supposons maintenant la route unie comme un pan de glace, ou simplement glaiseuse, glissante ; tout va changer. Le même virage, pris en vitesse vous conduira, non pas de A à C, mais de A à B ; l'inertie, qui n'a plus de contre-partie, vous amène sans douceur de C à B par le plus court ! c'est ce qu'on appelle



un *dérage*; heureux serez-vous si B n'est pas un arbre, un rocher, une autre voiture ou un précipice !

Dans les chemins de fer, c'est le rail lui-même, support et guide du mouvement, qui s'oppose au dérapage lequel, s'il se produit, prend le nom de *déraillement*.

En résumé, pour virer, il faut réunir trois conditions :

1<sup>o</sup> *Un lancement préalable*, appelé encore *vitesse acquise*, entretenu au besoin par une force motrice assurant la progression du véhicule malgré les résistances passives;

2<sup>o</sup> *Une cause déviatrice* qui amorce ou aiguille le changement de direction ;

3<sup>o</sup> *Une force centripète* qui courbe la trajectoire en s'opposant à l'effet centrifuge d'inertie.

(d) *Navire*. — Ici, plus de frottement transversal sur route ! Mais le navire possède une carène qui éprouve, de la part du liquide pesant, une résistance *marquée* à tout mouvement transversal. C'est cette résistance qui constitue la force centripète nécessaire. Quant à l'aiguillage déviateur, il est produit par le gouvernail.

(e) *Aéroplane*. — Vu l'extrême légèreté de l'air, nous ne trouvons plus ici de résistance transversale appréciable. Il y a bien celle qui s'exerce sur le fuselage, mais elle est peu importante, tant par suite de la faible surface présentée, que par la grandeur de la force centrifuge à combattre qui est proportionnelle à la masse de l'appareil, au carré de la vitesse acquise et en raison inverse du rayon de courbure du virage.

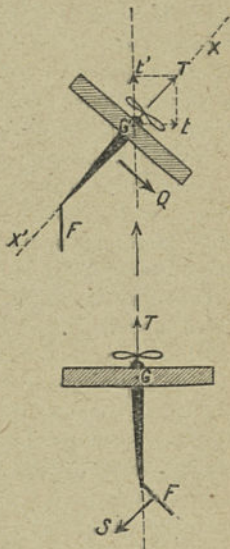


Fig. 221. — Virage à plat d'un avion, ou sans inclinaison sensible des ailes relativement à une horizontale transversale; ou encore virage *large* parce que la courbure du virage est peu accentuée.

Supposons alors que l'avion garde ses ailes horizontales (virage dit à *plat*) et que rien n'intervienne du dehors. Si, à un moment donné, nous obliquons le gouvernail de direction en lui faisant prendre la position F (figure 221), nous faisons naître une réaction S, qui va faire pivoter l'avion sur lui-même jusqu'à ce que le gouvernail se soit placé dans le lit du vent relatif. Pendant ce temps l'appareil, en vertu de sa grande vitesse acquise, va se trouver transporté de G en G' et se présentera de biais : c'est le dérapage total, l'appareil a pivoté sans virer, c'est-à-dire sans changer de direction de route.

Notons en passant que, par suite d'un coup de vent local, ce pivotement peut se produire accidentellement en marche ordinaire ; on le combat par l'adjonction, à l'arrière de l'appareil, d'un plan de dérive E (figure 208), de position fixe, qui assure la *stabilité de route*.

Revenons au virage. A vrai dire, l'orientation de l'aéroplane étant modifiée, il semble que l'hélice doive maintenant entraîner l'avion dans la direction X'X, au lieu de GG'; il en résulte bien un déplacement vers la droite mais faible, parce qu'il n'est dû qu'à la composante *t* de T dans le sens perpendiculaire à la direction primitive ; tandis que, vu la masse de l'avion et sa grande vitesse acquise, *l'inertie domine tout ici*. Ce n'est pas comme dans le cas d'une voiture légère tirée lentement par un cheval et où, à chaque instant, la direction du mouvement est déterminée par celle de la force de traction.

Néanmoins, il peut naître une petite force centripète Q résultant de l'action latérale de l'air sur la carène et sur le plan de dérive ; de sorte que, par la seule manœuvre du gouvernail de direction, il est tout de même possible de *virer à plat*, mais seulement en décrivant une courbe de très grand rayon (*virage large*).

Quant au *virage court*, c'est-à-dire sur une courbe de faible rayon, il ne peut s'obtenir qu'en faisant naître une forte réaction centripète de la part de l'air : il faut, pour cela, **PENCHER L'APPAREIL** du côté où l'on veut tourner, ce que le pilote peut obtenir dans une faible mesure en inclinant convenablement son corps, ou en déplaçant des masses à portée de sa

main, mais bien plus rapidement et efficacement par la manœuvre du *gauchissement*, ou mieux par celle des *ailerons*. Ceux-ci, dont nous avons déjà parlé au début, sont des surfaces planes CC (figure 208) dans le prolongement des ailes et mobiles autour des charnières KK; leur mouvement est déterminé par une commande placée à portée de la main du pilote. Par l'abaissement d'un des ailerons, on augmente l'incidence du vent relatif sur lui, donc la poussée de l'air de ce côté et l'appareil penche alors vers le centre du virage. Le gauchissement consiste en une torsion des bords des ailes obtenue au moyen de haubans spéciaux.

Dans ces conditions, en ne raisonnant que sur le schéma simplifié d'un monoplane (figure 222) supposé projeté sur un plan vertical, les deux ailes supportent des pous-

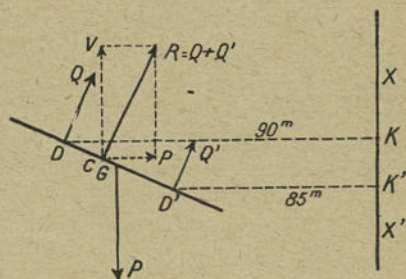


Fig. 222. — Virage court; forces entrant en jeu. L'appareil penche du côté où il tourne.

sées *inéga*les  $Q$  et  $Q'$ , tant par le fait de l'inclinaison de l'aileron que par suite de la différence des vitesses de circulation autour de l'axe  $X'X$  de virage: en effet, ces vitesses de circulation sont respectivement proportionnelles aux rayons de virage  $DK$  et  $D'K'$  correspondant à chaque aile; comme, d'autre part, les poussées de l'air sont proportionnelles aux carrés des vitesses, il en résulte que les poussées  $Q$  et  $Q'$  sont dans le même rapport que les carrés des distances  $DK$  et  $D'K'$ , ce qui s'écrit  $\frac{Q}{Q'} = \frac{\overline{DK}^2}{\overline{D'K'}^2}$ . Soit, par exemple,

$\overline{DK} = 90$  m. et  $\overline{D'K'} = 85$  m., on aura :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{90^2}{85^2} = \frac{8100}{7225} = 1,211;$$

d'où

$$\frac{Q - Q'}{Q'} = \frac{1,21 - 1}{1} = 0,211.$$



c'est-à-dire que la poussée sur l'aile gauche sera plus forte d'environ  $\frac{1}{3}$  de celle exercée sur l'aile droite, ce qui correspond facilement à plusieurs dizaines de kilogrammes.

Ces deux poussées Q et Q' se composeront en une seule R, égale à leur somme, appliquée en un certain point C, un peu au-dessus de G. La poussée R peut se décomposer en deux : V, verticale, presque opposée au poids P, l'autre composante F, horizontale, jouant le rôle de force centripète permettant le virage en évitant le dérapage.

En résumé, on voit que le simple fait d'incliner l'avion d'un côté suffirait, en lui-même, à provoquer le virage, *sans avoir besoin de faire intervenir le gouvernail* qui, cependant, est utile pour amorcer et faciliter la manœuvre. Terminons ceci en indiquant que l'avion *pique* un peu dans un virage parce que V devient plus faible qu'à plat. On voit aussi que, si l'on prolonge le virage et si l'on accentue un peu l'*apiquage*, l'appareil descendra en *vrille*. On peut aussi lui faire décrire une *boucle*, qui est une sorte de virage dans le sens vertical.

**Perfectionnements à la cellule et au corps de l'appareil.** — En général, on se propose l'un ou l'autre des buts suivants : ou bien transporter un poids lourd sans prétendre à une grande vitesse, ou bien aller le plus vite possible, ou encore monter très haut, en sacrifiant la question de poids. La réunion des deux qualités, poids et vitesse, n'est pas encore à envisager actuellement.

Cependant, quel que soit le but poursuivi, il existe un certain nombre de conditions communes qu'il y a intérêt à remplir dans chaque cas. Il est évident, notamment, qu'on devra s'attacher, pour une puissance donnée du moteur, à faire en sorte que la force portante, ou poussée V, soit la plus grande possible, pour le même poids, et que la résistance à l'avancement  $H + N$  (*traînée* et *nuisible*), soit la plus faible possible. Ce qui se résume en disant que les améliorations devront tendre à augmenter le rapport  $\frac{V}{H + N}$ .

(a) En ce qui concerne l'augmentation de V, on a reconnu

qu'une aile à profil légèrement concave (figure 223) avait une force portante plus grande qu'un plan de mêmes dimensions. Une telle aile est formée d'un certain nombre de nervures dont le bord d'attaque est plus épais que celui d'arrière ou de fuite : c'est une forme de bonne pénétration<sup>1</sup> ; l'intérieur est ajouré, ce qui donne plus de légèreté sans nuire à la solidité. Les nervures sont supportées et réunies par des traverses résistantes à section convenablement profilée.

Il est encore à signaler qu'une aile subit non seulement sur sa face concave, ou inférieure A (figure 223) une *surpression*<sup>2</sup> due au

rapprochement des molécules d'air rencontrées, mais encore, sur sa face supérieure convexe P, ou face dorsale, une *dépression*<sup>3</sup> produite par la raréfaction des molécules d'air due au déplacement de l'aile, cette dépression pouvant aller jusqu'à prendre une valeur double de la surpression inférieure ; de sorte que la résistance R de l'air sur l'aile est bien due pour les deux tiers à l'effet d'aspiration supérieure et pour un tiers seulement à celui de refoulement inférieur. On doit tenir compte de ces données dans la construction des ailes en donnant à chaque face une résistance appropriée.

Un rectangle soutient mieux qu'un carré de même surface à la condition toutefois que le bord d'attaque soit formé par la plus grande dimension ; cette dernière s'appelle l'*envergure*, la petite dimension est la *profondeur* ; l'*allongement* est, par définition, le rapport de l'envergure à la profondeur et doit être compris entre 5 et 9.

(b) **Résistance à l'avancement  $H + N$ .** — Pour une vitesse donnée, H dépend de l'incidence qui doit rester comprise entre les limites extrêmes 30° et 90°, et N ne dépend que de la

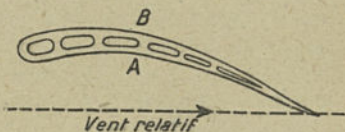


Fig. 223 — Augmentation de la force portante d'une aile en lui donnant un profil concave.

1. Voir un peu plus loin.

2. Augmentation de pression.

3. Diminution de pression.



vitesse et de la *forme* des objets sur lesquels elle s'exerce. Tous les efforts du constructeur doivent tendre à diminuer le plus possible cette résistance nuisible ; c'est là une considération très importante qu'on avait le grand tort de trop négliger à l'origine.

Nous avons dit précédemment qu'il se forme, à l'arrière d'un corps qui progresse dans l'air, un vide partiel où l'air se précipite sous forme de remous et tourbillons. On a étudié les conditions de forme de carène qui correspondent au minimum de résistance apporté par l'air au mouvement de progression et l'on est arrivé à ceci :

1<sup>o</sup> Il faut restreindre le plus possible la section présentée par les pièces perpendiculairement au vent relatif ; mais on ne peut évidemment descendre au-dessous d'une certaine limite indiquée par la résistance des matériaux.

2<sup>o</sup> Il faut donner à la carène une *forme particulière* telle que l'influence nuisible des remous arrière soit réduite au

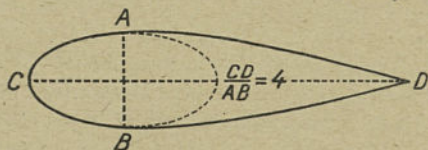


Fig. 224. — Forme de carène dite de *bonne pénétration*, ou encore profil *pisciforme*.

minimum. La meilleure forme est celle dont le profil est à l'avant, un demi-ovale prolongé à l'arrière par deux arcs de cercle, de telle façon que l'allongement, ou rapport de la longueur de carène à sa largeur, soit voisin de 4, comme le représente la figure. C'est ce que l'on appelle une forme de *bonne pénétration* ; c'est celle que devrait présenter un projectile d'artillerie et même une locomotive ou une automobile ! Ce profil est aussi celui des poissons, d'où son appellation de *pisciforme* ; il a aussi l'aspect d'un fuseau, d'où l'expression de *fuselage* donné au corps de l'aéroplane (fig. 224).

Ceci explique pourquoi, actuellement, on cache à l'air, en



l'enfermant dans le fuselage, tout ce que l'on peut dissimuler, comme les câbles de commandes mêmes, que l'on remplace, ceux des ailerons du moins, par des tubes insérés dans les ailes et actionnés par des leviers ; les fils d'acier, les haubans, sont enrobés dans un léger boisage fuselé qui diminue fortement la résistance que l'air exerce sur eux. Il en est de même des roues du châssis d'atterrissage qui sont recouvertes d'un entoilage. La partie avant de l'arbre de l'hélice est coiffée par une enveloppe ellipsoïdale en aluminium, entraînée par le mouvement de l'hélice, et formant en quelque sorte comme le prolongement antérieur du fuselage. En somme, tout ce qui est exposé directement au choc des molécules de l'air doit présenter à celui-ci une forme de bonne pénétration : réservoirs à essence, marchepieds, montants, tubes, câbles et leurs tendeurs (ceux-ci dans une gaine d'aluminium). On réduit l'importance des accessoires, on resserre les organes les uns derrière les autres de manière à ce qu'ils se masquent, et on fusèle le tout convenablement. C'est ainsi qu'avec un moteur donné on peut obtenir, pour l'appareil, le maximum de vitesse.

**Maniabilité.** — Un avion est d'autant plus maniable qu'il effectue plus facilement et plus rapidement les évolutions qu'on exige de lui. Pour cela, l'appareil doit être relativement léger, rapide, à moteur puissant et à organes de commandes aisés à actionner, ce qui s'obtient en les *compensant*. La compensation consiste à disposer l'axe de rotation de l'organe, non sur le bord d'attaque, ce qui force le pilote à vaincre un couple résistant considérable, mais à une certaine distance de ce bord, de façon à équilibrer totalement ou partiellement les résistances

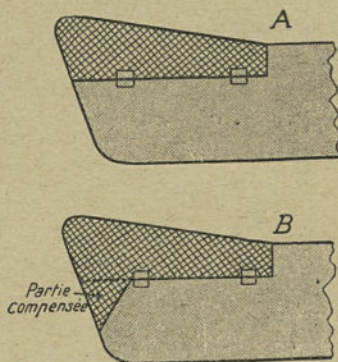


Fig. 225. — A, aileron non compensé, B, aileron compensé (H. W. 1917).

qui s'exercent sur les deux parties de l'appareil séparées par la charnière. La figure 225 offre un exemple de cette disposition qui rend les gouvernes très dociles à la main et qui permet, par la diminution des efforts transmis, d'alléger considérablement les câbles.

**Automatisme dans la stabilisation.** — Le corps et la cellule peuvent être considérés comme ayant atteint une grande perfection. Il ne reste plus qu'à améliorer les conditions de commodité et de sécurité que l'on peut demander à l'avion pour le mettre à la portée de tous. Il faut, pour cela, perfectionner les dispositifs de stabilisation automatique qui, lors d'une perturbation quelconque d'équilibre, actionneraient dans le sens voulu et avec l'intensité nécessaire les organes capables de provoquer le retour à la position normale. Dans ces conditions, le rôle du pilote se trouverait réduit au minimum ; c'est le problème de demain.

## II. LE MOTEUR

En aviation la question du moteur domine toutes les autres ; un aéroplane vaut surtout par cet organe qui lui fournit le mouvement et la vie, véritable cœur de tout son être, tandis que le pilote en est le cerveau.

Il a fallu beaucoup de temps et d'efforts pour créer des moteurs d'aviation assez satisfaisants. Ceci peut surprendre, étant donné le succès complet du moteur d'automobile, mais s'explique par les conditions particulières *impératives* auxquelles il faut satisfaire et qui consistent principalement à concilier une grande puissance, une extrême légèreté et une grande sûreté de marche.

Pour mieux préciser les difficultés à vaincre, nous rappellerons d'abord sommairement le principe d'un moteur à explosion.

## Principe du moteur à explosion.

Fig. 226. — Schéma d'un moteur à explosion :

A Piston avec ses segments au logés dans des rainures et empêchant les fuites.

B Cylindre dont la partie supérieure est la *culasse*.

CC Chemise d'eau pour le refroidissement du cylindre : C' entrée d'eau, C'' sortie.

D Chambre d'explosion.

E Soupape d'admission (automatique) et son ressort léger *e*.

F Soupape d'échappement (commandée) et son fort ressort *f*.

G Bougie d'allumage.

H Bielle, I manivelle et son maneton L.

K Arbre moteur (vibrequin).

K' Arbre de came, ou de dédoublement de vitesse.

M Came d'échappement et son brosseur M.

N poussoir et son ressort de rappel N.

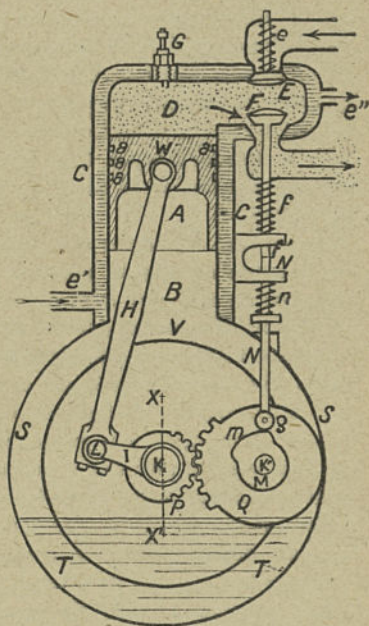
P Pignon de distribution.

Q Roue de distribution.

SS Carter ; T huile ; V volant.

W Pied articulé de la bielle.

XX' Positions extrêmes du bouton de manivelle, correspondant aux *points morts* du piston.



Comme celui d'automobile dont il dérive, le moteur d'aviation tire sa puissance de l'expansion subite, ou *détente*, des gaz très chauds produits par l'explosion d'un mélange de vapeur d'essence et d'air. L'essence dite *minérale* est retirée de la distillation fractionnée des pétroles bruts et est un mélange de divers hydrocarbures, c'est-à-dire de corps composés d'hydrogène et de carbone, d'où le nom d'*air carburé* encore donné au mélange explosif. La composition moyenne de l'essence pesant 710 grammes au litre correspond à la formule  $C^7H^{16}$  ; la combustion de 100 grammes de cette substance exigerait théoriquement 1530 grammes d'air, soit 15 à 16 fois plus d'air que



d'essence ; mais la pratique montre qu'il est nécessaire de forcer ce rapport jusqu'aux taux de 20 à 1, pour assurer une combustion complète du carbone et éviter tout encrassement intérieur et toute fumée extérieure.

L'explosion, qui n'est pas autre chose qu'une combustion extrêmement rapide, a lieu dans une capacité D (figure 226) appelée *chambre d'explosion* et y est provoquée par le jaillissement d'une étincelle électrique se produisant au niveau d'une pièce G appelée *bougie*. C'est alors que, par suite de la haute pression développée, le *piston* A est violemment repoussé dans le *cylindre* B.

Mais il faut remarquer dès maintenant qu'il ne suffirait pas d'enflammer un simple mélange d'air et de vapeur d'essence à la pression ordinaire ambiante ; il y aurait combustion tranquille sans effet mécanique notable. Il n'en est plus de même si, comme l'a imaginé pour la première fois Beau de Rochas, on a soin de comprimer préalablement le mélange jusque vers 4 ou 5 atmosphères ; c'est seulement dans ces conditions que le moteur développe une puissance considérable. Cependant, une compression plus élevée pourrait déterminer un auto-allumage prématuré et alors nuisible.

En conséquence, la marche d'un moteur va comprendre le cycle des quatre opérations suivantes, d'où le nom de *moteur à quatre temps* qu'on lui donne.

**Les quatre temps du moteur. Premier temps : aspiration ou admission.** — Le mélange d'air et de vapeur d'essence est aspiré dans le cylindre par le fait de la descente du piston, laquelle tend à produire le vide au-dessous de lui. C'est à ce moment que s'ouvre d'elle-même, *automatiquement*, la soupape E dite d'*aspiration* ; en effet, supportant en dessous d'elle une pression nulle et, par dessus, la pression ambiante (environ 1 kg par cm<sup>2</sup>), elle cède malgré la résistance du *ressort léger e*, s'abaisse et laisse entrer le mélange d'air carburé provenant du passage de l'air extérieur à travers un appareil contenant de l'essence et précisément appelé *carburateur*.

Tous les carburateurs actuellement en usage sont à *gicleur*,

tube étroit en relation avec un réservoir où l'essence est maintenue à un *niveau constant* (condition essentielle). Sous l'influence de la dépression intérieure, l'essence s'échappe de ce tube, gicle sous forme d'un jet qui, étant entouré par le violent courant d'air aspiré à la vitesse de 50 à 150 mètres par seconde, est entraîné, pulvérisé et vaporisé.

A chaque aspiration, le moteur absorbe ainsi *une cylindrée* de gaz dont le volume peut être calculé *a priori* connaissant la *course* du piston, ou longueur dont il s'abaisse totalement entre ses deux *points morts* supérieur et inférieur et son *alésage*, ou diamètre commun avec ledit cylindre. Par exemple, voici un moteur de 260 chevaux<sup>1</sup>, à 6 cylindres verticaux dont chacun d'eux a 160 d'alésage et 180 de course; ces cotes expriment toujours des millimètres et correspondent, par conséquent, à un volume de cylindrée égal à 3 litres, 62 environ<sup>2</sup>.

**Deuxième temps : compression.** — Le piston, étant arrivé à fond de course, et cessant d'aspirer, la soupape E se referme, le piston remonte et comprime fortement le mélange carburé dans la chambre D, ce qui s'accompagne d'un échauffement très notable du gaz et constitue une circonstance favorable.

**Mise en marche.** — On conçoit qu'au début, pour faire partir le moteur, il faut nécessairement faire agir une force extérieure provoquant la descente du piston puis sa remontée en compression. Ceci se fait généralement à la main, grâce à une manivelle de mise en marche; ensuite, c'est le moteur lui-même qui, une fois lancé, se charge d'accomplir cette besogne, au détriment, bien entendu, d'une fraction de la puissance motrice. Aussi donne-t-on le nom de *temps résistants* aux deux premières phases de cycle.

**Troisième temps, ou temps moteur : explosion et détente.** — Les deux soupapes continuant à rester fermées, l'étincelle jaillit à la bougie et enflamme le mélange; le piston recevant alors comme un énorme coup de poing, est violem-

1 Moteur Mercedes 1918.

2.  $\text{Volume} = \pi R^2 h = 3,1416 \times 80^2 \times 180 = 3.620.600 \text{ mm}^3$   
ou  $3620 \text{ cm}^3$ , ou 3,62 litres.



ment refoulé et entraîne tout le reste, grâce au *mécanisme de transmission* qui a pour rôle de transformer le mouvement rectiligne alternatif de ce piston en un mouvement circulaire continu. Ceci s'obtient par l'intercalation de la *bielle* H dont le *pied* W (qui est en haut !) est articulé au piston grâce à un tourillon autour duquel il peut osciller, tandis que la *tête* L (qui est en bas !) est aussi articulée à un autre tourillon appelé *maneton*, perpendiculairement solidaire d'un levier trapu et résistant I appelé *manivelle*; celle-ci est calée, c'est-à-dire fixée sur un cylindre plein K, appelé *arbre moteur*, qui prend alors un mouvement circulaire continu en entraînant un lourd *volant* V et tout le mécanisme. Ce volant, par sa masse forme un véritable réservoir de puissance motrice, ou d'énergie, et est destiné à régulariser le mouvement qui en a bien besoin, puisque c'est de ce troisième temps seul, ou *temps moteur*, que dérive la puissance du moteur.

**Quatrième temps : échappement.** — Une fois le piston chassé par l'explosion jusqu'en bas de sa course, il remonte grâce à l'impulsion du volant et, à ce moment même, la soupape F s'ouvre et laisse échapper au dehors les gaz brûlés refoulés par la remontée du piston. C'est ce moment que représente la figure. Ensuite la soupape F se referme, et c'est autour de la soupape E de s'ouvrir de nouveau pour le recommencement du cycle.

L'arbre moteur, les bielles et les manetons forment une pièce à coudes multiples et à plans différents désignée sous le nom de *vilbrequin* pour rappeler la forme et le fonctionnement de cet instrument. La complication de cet arbre coudé peut croître avec le nombre des cylindres, lorsque ceux-ci sont disposés les uns derrière les autres.

Toutes les parties frottantes doivent être très bien travaillées et calibrées cylindriquement avec interposition de coussinets en bronze phosphoreux qui supportent presque toute l'usure et que l'on remplace périodiquement. D'ailleurs, une lubrification abondante est absolument indispensable, sous peine d'amener à bref délai l'échauffement, la corrosion et le *grippage* <sup>1</sup>

1. Deux pièces grippent lorsque le frottement devient tellement fort qu'elles mordent l'une dans l'autre; se coincent et s'arrêtent.



des pièces : c'est alors l'arrêt brutal et la détérioration de pièces capitales. Généralement tout le système de transmission est renfermé dans une enveloppe légère SS (figure 246) appelée *carter* qui renferme de l'huile *minérale* (indécomposable par la chaleur du cylindre) ; celle-ci, par le barbotage de la manivelle et de ses annexes, vient rejaillir jusqu'au piston. Dans les moteurs très importants, ce système est insuffisant et est remplacé par une lubrification *forcée*, ou graissage *sous pression*, système dans lequel le liquide est amené, par le jeu d'une pompe, jusqu'aux coussinets et autres points de friction, par des petits canaux ménagés dans l'intérieur des pièces mobiles : vilebrequin, bielles...

**Jeu des soupapes de distribution.** — La soupape de distribution E (figure 246) qui n'est frôlée que par le passage de gaz froids et non corrodants, n'a pas besoin d'être très épaisse ; aussi peut-on se contenter, par raison de simplification dans la construction, de la laisser jouer *automatiquement* par la seule action de la dépression intérieure, au moment où le piston redescend, pendant le premier temps du cycle.

Il n'en est pas de même de la soupape F d'échappement qui, lorsqu'elle entre en jeu au quatrième temps, se trouve en contact avec des gaz brûlants et corrosifs ; il faut donc que cette soupape soit très robuste, plus épaisse que celle d'aspiration, et ne puisse avoir aucun raté possible ; aussi, son jeu doit-il être *commandé*, au moment précis et convenable, par le mouvement même du moteur. On y arrive par l'emploi d'un engrenage, d'une *came* et d'un *poussoir*. Pour cela remarquons que, lorsque le piston effectue un simple aller ou un simple retour, ce que l'on appelle une *course*, la manivelle I fait un demi-tour et passe de la position X à la position X' (figure 226), correspondant aux *points morts*, et telles que la longueur XX' est évidemment égale d'une part à la course du piston, d'autre part au double de la longueur de manivelle. Un tour complet de l'arbre emploie donc deux temps, le cycle en demande quatre et correspond à deux tours de l'arbre, d'où il suit que la soupape F ne doit s'ouvrir qu'une fois tous les deux tours d'arbre, et cela au quatrième temps. Cette remarque faite,

calons sur l'arbre K un *pignon* denté P et faisons-le engrener avec une roue Q. de diamètre et de nombre de dents doubles, qui tournera deux fois moins vite et ne fera qu'un tour en quatre temps; puis, sur l'arbre K' de Q, calons une *came* M, c'est-à-dire un disque muni d'un *bossage* excentré, ou proéminence *m*. on voit qu'une fois par cycle, ce bossage viendra soulever le *poussoir* ou taquet N dont l'extrémité est garnie d'un *galet* *g* pour adoucir le contact. Le poussoir est donc soulevé, en comprimant momentanément le ressort *n*, et vient pousser à son tour la queue ou tige I' de la soupape F qui découvre alors l'orifice d'échappement, tandis que le ressort *f*,

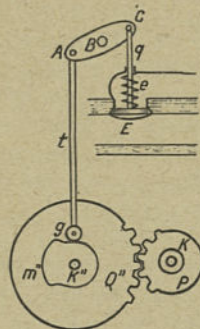


Fig. 227. — Commande des soupapes par poussoirs ou par culbuteurs E clapet d'aspiration. ABC culbuteur ; Q queue de soupape ; C son ressort ; T poussoir ; M'' came.

est lui aussi, comprimé. Ensuite, le bossage passé et effacé, les ressorts *f* et *n* se détendent et remettent tout en place. On a soin de laisser un léger intervalle entre le nez du poussoir et la queue de soupape, afin d'assurer la fermeture à fond de celle-ci sur son siège, sous l'action du ressort *f* qui doit être *très puissant*.

L'automatisme de la soupape d'admission a l'avantage de la simplicité, mais nécessite de donner au ressort correspondant *e* une tension *exactement mesurée* qui devrait être grande quand le moteur tourne vite, faible quand son allure est lente. Une petite variation de cette tension influe immédiatement et notablement sur la puissance du moteur,

en modifiant le moment où l'ouverture se découvre et en influant sur la valeur des cylindrées. Or, il suffit que le ressort en question s'échauffe pour amener les perturbations indiquées. Et puis il y a un intérêt réel à pouvoir provoquer l'aspiration à tel moment voulu du premier temps, par exemple avec un retard bien déterminé et constant, ce que ne permet pas l'automatisme et qui, cependant, est capable de conférer au moteur une très grande *souplesse*, c'est-à-dire une obéissance utile



aux sollicitations du pilote. Enfin cette soupape, assez mince et libre de ses mouvements, soumise à des alternatives de dépression et de compression, vibre généralement comme une castagnette affolée en faisant entendre un bruit désagréable.

Il y a donc intérêt, surtout dans les moteurs puissants qui sont constitués par la réunion d'un grand nombre de cylindres

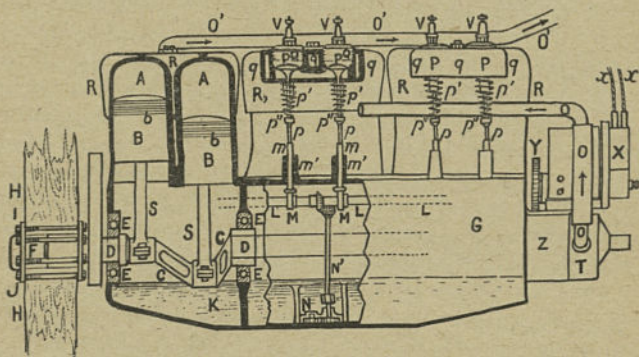


Fig. 228. — Vue simplifiée d'un moteur d'aviation à six cylindres :

AA, cylindres. BB, pistons. bb, segments. SS, bielles. DC, vilebrequin. DD, arbre.

CC, bras de manivelle évidé. EE, EE roulements à billes du vilebrequin.

F, moyeu de l'hélice. HH, hélice. II, plaque de fixation et ses boulons.

G, carter. K, huile. LL, arbre à cames MM, cames. mm, poussoirs et leurs guides m'm'.

N, pompe à huile (à engrenages) et son arbre N' commandé par celui des cames.

PP, soupapes d'échappement ; p p p, queues d'échappement ; p' p', ressorts d'échappement ; p'' p'' p'', butoirs inférieurs d'échappement ; Q Q, couvercles de soupapes ; q q, chambres d'eau de refroidissement des soupapes.

R R R, enveloppe des cylindres.

T, pompe à eau ; o o o, départ du tuyau d'eau de refroidissement aux cylindres ; O' O', tuyaux de sortie de l'eau faisant retour à la pompe (réfrigérant).

V V, bougies d'allumage.

X, magnéto et ses fils x x. Y, engrenage de commande de la magnéto. Z, carter d'engrenages de pompe et magnéto.

agissant de concert, à commander les deux soupapes, l'une par poussoir, par exemple, et l'autre par un petit balancier A C appelé *culbuteur* (fig. 227) pouvant basculer autour d'un tourillon B sous l'influence d'une came m'' et d'une tige t. On es-



time que le remplacement d'une soupape automatique par une soupape commandée fait gagner un dixième sur la vitesse du moteur et sa puissance.

Il y a intérêt à pouvoir examiner fréquemment les soupapes ménageant au-dessus de chacune d'elles, un orifice fermé par un couvercle fileté ; on ne met pas alors les soupapes l'une au-dessus de l'autre, mais de chaque côté du cylindre, à la partie supérieure, comme on le voit sur la figure 228 qui représente une vue simplifiée d'un moteur d'aviation à six cylindres A...A disposés en file les uns derrière les autres. Au milieu de la figure, on aperçoit, sur une coupe partielle, les soupapes PP d'échappement et, au-dessus de chacune d'elles, les couvercles de visite Q..Q, le tout entouré par une circulation d'eau froide *q...q*. Il faut alors deux arbres à cames commandant d'un côté toutes les soupapes d'aspiration, l'autre toutes celles d'échappement. La figure 228 donne une idée de cette disposition. Bien entendu, sur chaque arbre L...L, les cames M...M sont *décalées* convenablement les unes par rapport aux autres, car il faut savoir que les temps moteurs des six cylindres arrivent *succesivement* et non simultanément ; ceci offre l'avantage de régulariser le mouvement en donnant par exemple, dans le cas de quatre cylindres, un temps moteur à chaque demi-tour de l'arbre, au lieu d'un seul par deux tours ; d'où suppression ou réduction possible du volant et allègement relatif du moteur. Le vilebrequin DCDC... n'a pas besoin d'être plus résistant que pour un seul cylindre, puisqu'il n'a jamais à supporter, à un instant quelconque, qu'une seule des poussées motrices et non toutes à la fois. La légende qui accompagne la figure suffit à faire comprendre la fonction de chacun des organes.

**Avance à l'allumage et autres.** — (a). **A l'allumage.** — Supposons que l'étincelle ne jaillisse qu'au moment même où le piston, arrivé à fond de course, a terminé complètement la compression, c'est trop tard ! car le piston commence aussitôt à redescendre en prenant progressivement une vitesse croissante, qui atteint jusqu'à 8 à 10 mètres par seconde, tandis que l'explosion, l'onde explosive si l'on veut, va généralement moins vite et serait obligée de courir après le piston

sans pouvoir le rattraper ! On voit donc que, même dans les circonstances les plus favorables, celles où l'onde irait aussi vite que le piston, elle ne communiquerait à celui-ci le choc moteur qu'avec un certain retard, et encore ce choc serait-il déjà amoindri par ce fait que l'explosion s'est produite dans un mélange carburé déjà en voie de décompression. Aussi, a-t-on trouvé réellement en fait qu'il y a avantage, au point de vue de la puissance, à faire éclater l'étincelle un peu avant le commencement théorique du temps moteur : c'est ce qu'on appelle *l'avance à l'allumage*, laquelle atteint en général 30 degrés sur l'angle décrit par la rotation du système de déclenchement de l'étincelle.

L'avance à l'allumage confère encore au moteur une propriété importante, la *souplesse* qui lui permet d'obéir aux commandes du pilote : en donnant de l'avance, le moteur accélère et devient plus puissant, en retardant, au contraire, le moteur ralentit et se modère.

L'étincelle est produite maintenant par le courant d'induction engendré dans une *magnéto* à induit mixte<sup>1</sup>, celui-ci étant entraîné au moyen d'un système d'engrenages commandé par l'arbre moteur. L'étincelle est déclenchée, au moment convenable et au cylindre voulu, par le jeu d'un organe spécial appelé le *distributeur*.

(b) **A l'échappement.** — De même, il y a avantage à ouvrir l'orifice d'échappement un peu avant que le piston ne remonte, au quatrième temps, afin d'éviter un commencement de compression des gaz brûlés : c'est *l'avance à l'échappement* qui est indispensable et doit être d'autant plus accentué que le moteur tourne plus vite. Cette avance atteint jusqu'à 46 degrés d'angle, ou dix pour cent de la course.

(c) **Retard à l'aspiration.** — Il y a avantage, par contre, à ce que l'admission *commence et finisse en retard*. On se rend compte que le piston étant en bas de course, au point mort inférieur, le cylindre est rempli d'un gaz qui

1. L'induit de la magnéto Bosch est formée de deux enroulements : le primaire à fil gros et court ; le secondaire, à fil long et fin, où naît le courant d'induction à *haute tension* utilisé.



n'a pas encore eu le temps de se tasser à la pression atmosphérique, de sorte qu'un peu de gaz peut encore rentrer même quand le piston commence déjà à remonter ; or, on a intérêt à bien nourrir le moteur et à lui donner des cylindrées tassées, etc.

**Refroidissement des cylindres.** — La température développée par l'explosion est très élevée, 2000 degrés environ et, quoiqu'elle s'abaisse notablement par la détente, elle est encore considérable, à la sortie des gaz expulsés. Aussi, si l'on ne prenait pas de précautions spéciales, le cylindre et le piston arriveraient vite à s'échauffer à un tel point que, malgré le lubrifiant, un grippage serait inévitable. On y obvie en refroidissant extérieurement le cylindre par une circulation d'eau entretenue dans une enveloppe *c* (figure 228) appelée *chemise d'eau* ; le liquide froid entre par un orifice *C'* et ressort chaud par *C''*.

Quand le moteur appartient à une installation fixe, rien n'est plus simple que de se servir de la canalisation urbaine et de laisser se perdre le liquide échauffé. Mais, en automobile et, à plus forte raison en aviation, faut-il se résigner à n'utiliser qu'une quantité d'eau limitée que l'on emporte avec soi. Comme c'est le même liquide qui doit constamment resservir, il est inévitable d'installer un système de circulation qui, au moyen d'une petite pompe mue par le moteur, aspire l'eau échauffée, l'envoie dans un appareil de réfrigération appelé *radiateur*, formé d'une série de tubes exposés au vent relatif, et la renvoie rafraîchie au cylindre. Il y a aussi la circulation par *thermo-siphon*, moins efficace, où l'on utilise l'atténuation de densité résultant de l'échauffement.

On aperçoit, sur la figure 228, la pompe à eau *T* mise en action par le moteur et qui, par le tube *O*, envoie l'eau aux cylindres et aux chambres des soupapes. L'eau échauffée ressort par le tuyau *O'*, va au radiateur et revient à la pompe. La vitesse de débit à donner à celle-ci est encore un point délicat, comme tout ce qui touche à l'aviation. Il faut refroidir le moteur au moins au-dessous de 350 degrés, qui est la température maxima que puisse supporter, sans trop de dommage, l'huile



minérale ; mais il ne faut pas non plus trop refroidir, car les calories ainsi enlevées constituent une perte de travail équivalente et la puissance du moteur s'abaisse aussitôt, comme le montre d'ailleurs l'expérience. Or, si l'eau va trop vite, elle n'a pas le temps de se refroidir suffisamment au radiateur ; si, au contraire, elle va trop lentement, elle arrive plus froide, mais s'échauffe plus au cylindre et ne s'y renouvelle pas assez : il existe donc dans une vitesse *optima*.

Le refroidissement par circulation d'eau entraîne un accroissement de poids considérable provenant, tant du liquide lui-même emporté, que de l'adjonction au moteur de la pompe, du radiateur, des tubes de circulation et des chemises-enveloppes. Aussi en aviation, où la question de poids est primordiale, supprime-t-on parfois le système précédent et se contente-t-on de refroidir les cylindres en... soufflant dessus, si l'on peut dire ! C'est ce que l'on appelle le refroidissement par l'air et ailettes, soit que l'on utilise simplement l'action du vent relatif glissant sur les ailettes dont sont munies les parois du cylindre, soit que l'on insuffle sur elles le courant d'air projeté par un *ventilateur*, ou enfin que le refroidissement se fasse automatiquement, par le déplacement des cylindres, comme cela est réalisé dans les moteurs en étoile *rotatifs* (figure 230).

Quoi qu'il en soit, il est de la plus haute importance que le pilote surveille attentivement la température de son moteur : trop chaud, il grippe et s'arrête, trop froid, sa puissance tombe à rien ; dans les deux cas, c'est la panne. Aussi, un instrument thermométrique à indications bien visibles doit-il être installé près du pilote.

#### *Exigences particulières du moteur d'aviation.*

**Qualités requises.** — Ce sont la puissance, la légèreté, la sûreté, la souplesse. Définissons-les.

(a) **Puissance et légèreté. Puissance massique.** — Rappelons que la puissance d'un moteur est mesurée par la quantité de travail, le nombre de kilogrammètres, qu'il peut fournir par unité de temps. Le cheval-vapeur (H-P ou che. vap.) correspond à 75 kilogrammètres fournis par seconde.

Un moteur d'automobile, même excellent, ne convient pas

forcément à un avion. Tout d'abord, le vol ne commence à devenir possible que si le moteur ne pèse pas plus de 3 à 4 kilogrammes par cheval au grand maximum, tandis que celui d'automobile atteint et dépasse même 10 kilogrammes. Ce nombre, masse par cheval, s'appelle *puissance massique*, ou spécifique, et est une des caractéristiques essentielles d'un moteur d'aviation ; cette caractéristique est d'autant meilleure que le moteur a plus de puissance et, en même temps, plus de légèreté.

(b) *Sûreté*. Consiste en ce que l'on peut compter sur une marche longtemps prolongée sans rencontrer la fâcheuse panne.

(c) *Souplesse*. Faculté d'adaptation aux diverses conditions d'allure ou de milieu, par changement de vitesse, de pression ou de température ambiantes, sans perturbation notable de puissance. Qualité mal réalisée.

Examinons de quoi dépendent ces diverses qualités et comment on peut les obtenir.

1° *Puissance*. — De quoi est-elle faite ? La puissance finalement *utilisable* résulte des gains et des pertes de travail.

A. *Gains de travail*. — *Vitesse de régime*. — Les gains résultent d'une source unique : le travail restant comme bénéfique, tous frais payés des temps résistants, après l'accomplissement des quatre temps du cycle. Appelons *puissance brute* ce gain définitif par unité de temps ; de quoi dépend-il ? Il est le produit des deux facteurs suivants :

(a) Le *nombre des cylindrées* par seconde, qui est en proportion avec le nombre de tours de l'arbre et de l'hélice ;

(b) La *valeur énergétique* de chacune de ces cylindrées. Ces deux facteurs réagissent d'ailleurs l'un sur l'autre d'une manière plus ou moins complexe. Si le moteur tourne trop vite, les cylindrées sont nombreuses, mais elles ont moins de valeur parce que le cylindre n'a pas le temps d'aspirer un poids suffisant de gaz ; le moteur est dans la même situation qu'un animal qui avale beaucoup de bouchées peu nourrissantes ! Si, au contraire, le moteur va trop lentement, les cylindrées sont plus nourrissantes mais trop rares et, dans ce cas comme dans le précédent, la puissance s'affaiblit. Il y a donc, pour un moteur *déterminé*, une vitesse dite de *régime* qui lui convient le



mieux et pour laquelle les deux facteurs de la puissance quantité et qualité des cylindrées, sans être maximum ni l'un ni l'autre, donnent cependant un produit qui a la plus grande valeur possible pour l'appareil considéré. La pratique enseigne que cette vitesse oscille généralement, pour les divers moteurs, entre 1200 et 1600 tours par minute.

A titre d'exemple, comparons deux types d'un moteur de même marque, le Mercedes 6 cylindres 1914 et celui de 1918; le premier avec 120 millimètres de course et 140 d'alésage, rotation de 1200 tours et puissance 100 HP; le second, avec  $160 \times 180$  de dimensions, 1400 tours et 260 HP. Si nous effectuons dans chaque cas le produit du nombre de tours par le volume d'une cylindrée et si nous calculons le quotient du deuxième produit par le premier, nous trouvons  $\frac{18}{7}$ , ou 2,6 c'est-à-dire précisément le même rapport que celui des puissances motrices 260 et 100<sup>1</sup>.

On tend actuellement à réaliser des vitesses encore plus considérables, allant jusqu'à 2000 tours.

REMARQUE. — Cette nécessité du régime est un défaut plutôt gênant, incompatible avec une qualité précieuse : la *souplesse*, qui permet au moteur de garder toute sa puissance en s'adaptant à des conditions très différentes d'allure ou de milieu. Avec les moteurs actuels, le pilote peut bien modérer ou accélérer l'allure, mais alors la puissance fléchit prodigieusement jusqu'au quart, au cinquième ou au dixième de sa valeur. On tourne la difficulté, en automobilisme, par l'artifice de la *boîte à changements de vitesse* qui laisse à peu près intacte l'allure du moteur, mais ne transmet le mouvement aux roues arrière

1. En effet, le volume de cylindrée est, en appliquant la formule  $V = \pi R^2 h$ , et en prenant le centimètre cube pour unité : dans le premier cas,  $V_1 = \pi \times 7^2 \times 12$ ; dans le second cas,  $V_2 = \pi \times 9^2 \times 16$ . Le produit du nombre de tours par le volume de cylindrée est :

dans le premier cas,  $P_1 = \pi \times 7^2 \times 12 \times 1200$ ;

dans le second cas,  $P_2 = \pi \times 9^2 \times 16 \times 1400$ .

Le rapport est  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{9 \times 16 \times 1400}{7^2 \times 12 \times 1200} = \frac{9^2 \times 16 \times 2 \times 7}{7^2 \times 12 \times 12} = \frac{18}{7} = 2,57$ .



qu'avec une *démultiplication* appropriée selon la résistance à vaincre. Ce dispositif bruyant et surtout lourd n'est pas applicable en aviation.

La valeur d'une cylindrée dépend, non seulement de son volume, mais encore de diverses autres circonstances telles que :

(a) L'augmentation de la compression qu'il y a avantage à pousser jusqu'à 5 et un peu au delà (limite 6 environ).

(b) La diminution des résistances que la tuyauterie et les divers orifices opposent à la circulation des gaz aspirés ou expulsés ; dans ce but, on accroît le plus possible le nombre et les dimensions de ces organes ; par exemple, on double le nombre de toutes les soupapes et l'on donne un très grand diamètre à toutes les conduites de gaz.

(c) Il y a intérêt à alimenter le moteur avec une essence très homogène et très volatile, de façon à ce que sa vapeur se forme rapidement et se mêle aisément à l'air<sup>1</sup>.

(d) Amélioration de la carburation. Un carburateur d'automobile fonctionne toujours entre des limites de pression et de température peu étendues. Il n'en est pas de même pour l'avion qui, en s'élevant de plusieurs milliers de mètres, aborde des régions où les données météorologiques subissent une baisse très accentuée. C'est ainsi que, vers 5 000 mètres d'altitude, la température éprouve une chute de 25 à 30° et la pression atmosphérique diminue de moitié environ. Dans ces conditions, le poids d'oxygène qui entre dans une cylindrée faiblit d'autant ; il faut donc que le carburateur ait assez de souplesse pour s'adapter automatiquement à ces conditions nouvelles en n'admettant qu'une quantité d'essence proportionnellement réduite ; or l'essence s'évapore plus vite dans le vide mais moins vite par le froid ; il faudrait faire en sorte que ces deux tendances opposées se fissent exactement équilibre. On a imaginé de réchauffer le carburateur pour améliorer son fonctionnement, en le faisant voisiner avec le tuyau d'échappement. Il y aurait lieu, aussi, de tenir compte de la perturbation provoquée dans la

1. Un grand avion de bombardement doit emporter jusqu'à 600 litres d'essence.

compression qui, en raison de la raréfaction de l'air, devrait être poussée plus loin.

Quoi qu'il en soit, même en supposant le carburateur parfaitement adapté à son nouveau milieu, la valeur énergétique d'une cylindrée se trouve toujours notablement affaiblie d'un tiers environ, au moment même où, au contraire, on aurait besoin d'un supplément de puissance pour pouvoir aller plus vite, de façon à compenser la diminution de force portante, de poussée, qui résulte du décroissement de densité de l'air ! On voit combien la question est complexe.

**B. Pertes de travail.** — Il y en a de systématiques, agissant constamment, donc graves; d'autres sont accidentelles, simplement gênantes au moment où elles se produisent. Parmi les premières, indiquons :

(a) Les pertes dues aux *résistances passives (frottements)*. On y obvie par la lubrification *sous pression* (voir antérieurement) et on installe un manomètre qui indique à chaque instant la pression de l'huile dans la canalisation. Si cette pression faiblit au-dessous d'une certaine limite, c'est que le graissage est défectueux.

(b) Les *pertes de force vive* dans les pièces qui subissent des *chocs* ou qui sont animées de *mouvements alternatifs*, ou de va-et-vient. En effet, d'après le principe de l'*inertie* de la matière, ou de la tendance au mouvement rectiligne, uniforme et continu, il faut dépenser un certain travail pour faire rétrograder une pièce dont le mouvement change de sens. Si  $m$  est la masse de cette pièce et  $v$  sa vitesse dans un sens, elle possède une énergie cinétique ou demi-force vive, égale à  $\frac{1}{2}mv^2$ ; lors d'un changement de sens, il faut d'abord annuler cette énergie, ce qui exige précisément la dépense d'un travail égal à  $\frac{1}{2}mv^2$ , puis, pour rétablir ensuite la vitesse  $v$  dans le sens contraire, une nouvelle dépense  $\frac{1}{2}mv^2$ ; total  $mv^2$  dépense payée par le moteur.

Il est donc important d'atténuer le plus possible toutes les



forces vives alternatives présentes en affaiblissant les masses (facteur  $m$ ), d'où l'*allègement tout indiqué* des bielles, pistons, tiges, soupapes, etc. Ainsi on remplace actuellement la fonte par l'aluminium beaucoup moins dense, pour la confection des pistons, etc. On met en jeu les soupapes au moyen de culbuteurs déclanchés directement par un arbre à cames, en supprimant tiges et poussoirs. Peut-être même arrivera-t-on à supprimer sans trouble les soupapes elles-mêmes (moteurs sans soupapes).

On remarquera que ces allègements procurent un double bénéfice ; ils évitent une perte de travail et ils allègent le moteur.

(c) Les pertes d'énergie par *rayonnement*. Nous avons déjà indiqué, à propos du refroidissement du cylindre, que les calories enlevées de quelque façon que ce soit, constituent une perte d'énergie toujours soldée aux dépens de la puissance du moteur. Sous ce rapport, il y aurait avantage à donner à la chambre d'explosion une forme *hémisphérique*, car la sphère offre le minimum de surface pour le maximum de volume et, par conséquent, correspond au minimum de perte de chaleur par rayonnement.

(d) La perte de calories et de puissance due à la *réfrigération* inévitable du cylindre, par l'eau ou par l'air, est un mal nécessaire mais que l'on doit restreindre au minimum.

(e) Une autre cause d'affaiblissement est la dépense que nécessite la résistance de l'air sur l'ensemble du moteur, selon l'agencement plus ou moins heureux de ses organes. On doit se rapprocher, pour cet ensemble, d'une forme de *bonne pénétration* (voir antérieurement), et ceci nous amène naturellement à donner quelques indications sur les divers moteurs, selon le mode de groupement de leurs cylindres.

1. *Moteurs alignés*. Supposons 6 cylindres ; nous aurons avantage au point de vue d'une faible résistance de l'air, à les disposer les uns derrière les autres dans le lit du vent, de façon à ce qu'ils se masquent comme le représente la figure.

2. Disposition en *V* (figure 229), trois groupes analogues défilés l'un derrière l'autre. Un peu moins avantageux que la précédente.



3. Disposition en *étoile* (figure 230) encore moins bonne au point de vue de la résistance de l'air, quoique présentant des avantages sous d'autres rapports.

**Pertes accidentelles.** — Signalons les ratés d'allumage. On y obvie par l'emploi de deux bougies par cylindre, et de deux magnétos par moteur, ou groupe de cylindres. Pour les très forts moteurs de plusieurs centaines de HP, il est indispensable d'installer un dispositif de mise en marche comprenant une magnéto supplémentaire dite de départ.

2° **Légereté.** — Est obtenue : 1° par *réduction au nombre minimum des pièces strictement indispensables* ; ainsi on pourra ne mettre qu'un seul arbre à cames pour la commande de toutes les soupapes et on fera agir directement les cames sur les culbuteurs, pour supprimer tiges et poussoirs.

On se demande même s'il ne serait pas possible de fabriquer certains bronzes au plomb qui permettraient de supprimer l'huile et tout ce qui s'en suit ! (paliers auto-graisseurs).

2° *Par une meilleure disposition des pièces indispensables.* Par exemple, la dispo-

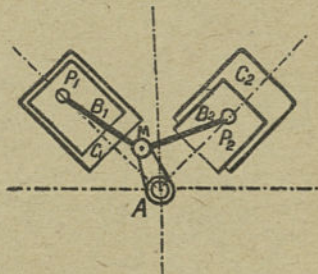


Fig. 229. — Schéma d'un moteur en V.

sition que l'on donne aux différents cylindres d'un moteur influe beaucoup sur la complication et la masse du vilebrequin et du carter ; cette masse est la plus grande possible quand les cylindres sont alignés selon la figure.

Au contraire, la disposition en V conduit à une simplification. Supposons 8 cylindres ; nous les disposons deux par deux sur un même carter, de part et d'autre de celui-ci, en inclinant leurs axes de 45° par exemple (figure 229) et nous échelonnons en profondeur quatre de ces V ; cartes et vilebrequin seront donc réduits de moitié : deux bielles  $B_1$  et  $B_2$  attaquant le même maneton M, il suffit de 4 manetons et d'un seul arbre à cames pour 16 soupapes ; ce dernier, à condition d'être ren-

forcé, pourra porter le moyeu de l'hélice qui, tournant alors deux fois moins vite, aura un meilleur rendement.

Dans la disposition en étoile fixe (fig. 230), les 7 bielles  $M_1$ ,  $M_2$  ...  $M_7$  s'articulent sur un même maneton B qui n'a pas besoin d'être plus gros que s'il n'y avait qu'un seul cylindre puisque, comme nous l'avons déjà indiqué, les 7 temps moteurs sont successifs et non simultanés, de sorte que l'effort exercé à un instant quelconque sur le vilebrequin n'est pas augmenté. Le vilebrequin et le carter sont ainsi réduits au minimum ; de plus, grâce à la répétition fréquente des coups moteurs par

seconde, on supprime le volant ; d'où une autre diminution de poids très appréciable.

### Moteur étoilé rotatif

— Considérons le moteur étoilé fixe précédent (fig. 230) et soit  $f$  le sens de rotation de l'arbre A entraîné par la manivelle commune AB. Animons, par la pensée, tout cet ensemble : arbre, manivelle, bielles, pistons et cylindres, d'un mouve-

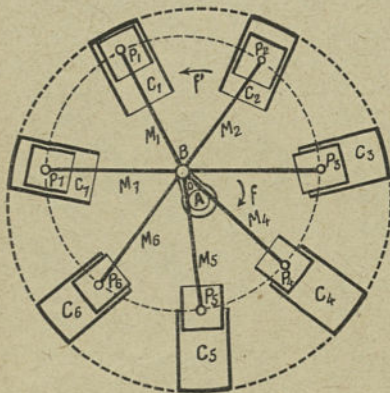


Fig. 230 — Schéma d'un moteur étoilé.

ment circulaire de sens  $f'$  contraire à  $f$ , ce qui ne change rien au *fonctionnement relatif* des diverses pièces ; dans cette hypothèse, l'arbre A devient fixe, ainsi que la manivelle et son maneton B, tandis que le groupe des pistons, cylindres et carter, tourne dans le sens  $f'$  autour de l'arbre qui forme le centre géométrique du moteur. Quant aux bielles et aux pistons, ils tournent autour du maneton comme centre (circonférence pointillée) : nous avons ainsi le moteur étoilé rotatif *Gnôme*. Le moyeu de l'hélice est solidaire du système mobile du carter et des cylindres.



Les avantages de ce moteur sont :

1<sup>o</sup> Comme dans l'étoile fixe, (a) suppression du volant, non seulement à cause de la multiplicité des coups moteurs, mais encore mieux par la rotation de la couronne des cylindres, qui fait volant même ; (b) réduction considérable de poids sur le carter et le vilebrequin.

2<sup>o</sup> En particulier, suppression de la circulation d'eau, le refroidissement étant assuré, à peu près suffisamment, par le déplacement rapide des cylindres dans l'air.

3<sup>o</sup> Bon équilibrage, par suite de l'absence de tout mouvement alternatif ; car celui des pistons n'est que *relatif* par rapport aux cylindres ; en réalité, ils ne font que tourner autour du maneton B, et il y a absence totale des effets d'inertie alternative.

Les inconvénients sont :

1<sup>o</sup> Existence de grands efforts centrifuges tendant à arracher les cylindres du carter et nécessitant, en outre, un équilibrage soigné des soupapes dont ils tendent à empêcher le fonctionnement normal ; d'autant plus que la soupape d'admission est automatique et placée à l'intérieur du cylindre, sur le piston même qui est perforé ; le gaz carburé venant du carburateur est amené dans le carter, qui forme *nourrice* pour tous les cylindres, en évitant alors le contact du lubrifiant avec les gaz (difficultés).

2<sup>o</sup> Impossibilité de marcher plus de 2 à 3 heures sans qu'il se produise un échauffement notable. Nécessité de fréquents démontages et de remplacements d'organes

3<sup>o</sup> Effet gyroscopique sur la marche de l'avion, rendant les virages plus difficiles d'un côté que de l'autre.

Le moteur le *Rhône* est un étoilé rotatif dérivé du Gnôme, mais où toutes les soupapes sont commandées mécaniquement et placées extérieurement. Le carter joue encore le rôle de *nourrice* de distribution. Les deux soupapes de chaque cylindre sont commandées par un seul culbuteur et une seule tige poussée ou tirée par une came.

3<sup>o</sup> **Par l'allègement des pièces indispensables.** — Le poids d'une pièce dépend de ses *dimensions* et de sa *densité*. Les dimensions sont conditionnées par la *grandeur des*



efforts à subir et la *résistance spécifique* de la matière employée.

La partie de la mécanique appliquée appelée *Résistance des matériaux* indique, dans chaque cas, quelle est la meilleure forme et quelles sont les bonnes dimensions à donner à une pièce, sans employer un excès inutile de matière ; ceci conduit à l'adoption de ce qu'on appelle des *solides d'égale résistance* tels qu'en chaque région du métal le travail et la fatigue y sont les mêmes, sans qu'il y ait de région favorisée (excès de matière et de poids), ou défavorisée (insuffisance dangereuse).

La même théorie indique encore quels sont les évidements, ou ajourages, que l'on peut pratiquer sans inconvénient.

Quant à la résistance spécifique, on remplacera partout où on le pourra la fonte par l'acier, plus résistant sous les mêmes dimensions, ce qui permettra de diminuer celles-ci.

En ce qui concerne la *densité*, rappelons la substitution déjà indiquée des pistons en *aluminium* à ceux en *fonte*. Un alliage nouveau très léger, le *duralumin* est en faveur ; il est composé d'aluminium, de magnésium et de cuivre ; sa densité 2,8 est très faible, et sa résistance se rapproche de celle de l'acier doux ; il est susceptible d'un beau poli, comme le nickel et se soude, se forge, se travaille facilement ; il est, de plus, très résistant aux diverses influences chimiques.

Des aciers très résistants, au *vanadium*, pour bielles et vilebrequins sont à l'étude.

En résumé, on possède des moteurs d'aviation qui sont déjà très satisfaisants et dont quelques-uns comme le *Rhône* ne pèsent pas plus de 4,2 à 4,5 kg. par cheval. Tous les efforts doivent tendre à abaisser encore ce chiffre, s'il est possible, et à obtenir par surcroît la souplesse et la sûreté qui conféreront alors au moteur l'intégralité des qualités indispensables en aviation.

## CHAPITRE IV

### INDUSTRIES CHIMIQUES

SOMMAIRE. — *Acides commerciaux : sulfurique, azotique et chlorhydrique. — Fixation de l'azote atmosphérique : nitrates de synthèse et acide nitrique ; ammoniacque de synthèse ; obtention en grand de l'azote et de l'hydrogène ; nitrures ou azotures et cyanamide calcique. — Soudes et potasses. — Sel ou chlorure de sodium. — Amidonnerie et féculerie. — Huiles et savons, bougies et chandelles. — Industries relatives à la préparation des cuirs et peaux.*

#### I. — ACIDES COMMERCIAUX

**Acides.** — On désigne sous le nom d'*acides* (du latin *acetum*, qui désignait le vinaigre) des liquides dont la saveur aigre rappelle celle du vinaigre ou du citron et qui, sous l'action des alcalis, potasse, soude..., perdent cette propriété, ainsi que celle de faire virer la teinte de divers colorants.

Nous allons étudier sommairement la fabrication des plus importants d'entre eux : les acides sulfurique, azotique et chlorhydrique, notamment celle du premier, qui sert à obtenir presque tous les autres, ainsi qu'une grande quantité de corps les plus divers.

#### Acide sulfurique.

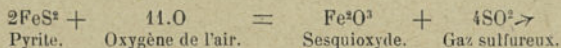
**Composition.** — Cet acide est composé de soufre (S) d'oxygène (O) et d'hydrogène (H) ; il répond, par sa composi-

tion, à la formule chimique  $\text{SO}^4\text{H}^2$ . On peut aussi le considérer comme résultant de la combinaison de l'eau  $\text{H}^2\text{O}$ , avec le corps  $\text{SO}^3$ , appelé acide sulfurique *anhydre* (c'est-à-dire sans eau) ou *anhydride sulfurique*. Ajoutons que l'acide sulfurique est encore appelé, dans certains ateliers, *huile de vitriol*, ou simplement *vitriol*, parce qu'on l'obtenait autrefois par la calcination du *vitriol vert*, ou sulfite ferreux. Ceci posé, il existe actuellement deux grands procédés d'obtention de cet acide : le procédé dit des *chambres de plomb* et celui dit par *contact* ou *catalyse*.

**Obtention du gaz sulfureux.** — Ces deux procédés ont un point de départ commun : l'obtention du gaz anhydride sulfureux  $\text{SO}^2$  ; on y arrive soit par la combustion du soufre (pour l'acide sulfurique dit au *soufre*), soit plus économiquement par celle de divers sulfures métalliques naturels, tels que la pyrite de fer  $\text{FeS}^2$  ou la blende  $\text{ZnS}$  (sulfure de zinc).

Le soufre donne directement, en brûlant, le gaz  $\text{SO}^2$ . Les gisements de ce métalloïde sont, en Europe, celui de la Sicile exportant annuellement environ trois millions de tonnes représentant 32 millions de francs, et, aux Etats-Unis, celui de la Louisiane.

La pyrite de fer contient environ la moitié de son poids de soufre. La France en possède des gisements abondants à Saint-Bel (Rhône) ; l'Espagne a l'immense dépôt de Rio-Tinto, dont les pyrites *cuvreuses* sont d'abord soumises à un lavage spécial qui en extrait 2 à 3 p. 100 de cuivre. La combustion de la pyrite, sous l'action de l'oxygène de l'air, donne lieu à l'oxydation simultanée du soufre et du fer, c'est-à-dire à la production de gaz sulfureux et de sesquioxyde de fer, selon la réaction :



On estime qu'une tonne de pyrite peut permettre l'obtention d'une tonne et un tiers environ d'acide sulfurique  $\text{SO}^4\text{H}^2$ .

La blende est du sulfure de zinc  $\text{ZnS}$ , dont la France possède des gisements dans l'Ariège et diverses autres régions.



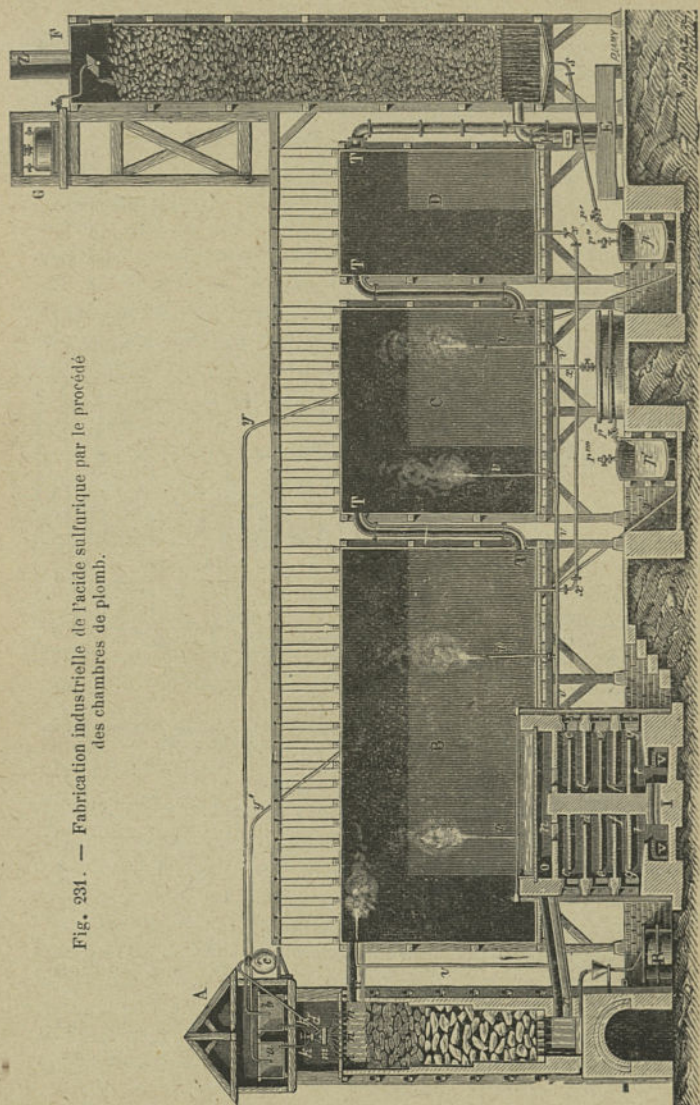
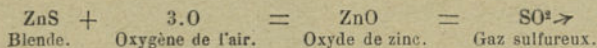


Fig. 231. — Fabrication industrielle de l'acide sulfurique par le procédé des chambres de plomb.

La combustion de ce corps en présence de l'air (ce que l'on appelle un *grillage* en métallurgie) produit de l'oxyde de zinc, utilisé en métallurgie pour l'extraction de ce métal, et du gaz sulfureux, selon la réaction :



Une tonne de blende aboutit à la production d'un peu moins de la moitié de son poids d'acide.

Ce grillage, cette combustion des sulfures métalliques s'effectue dans des appareils appelés *fours à pyrite*. Ceux-ci sont

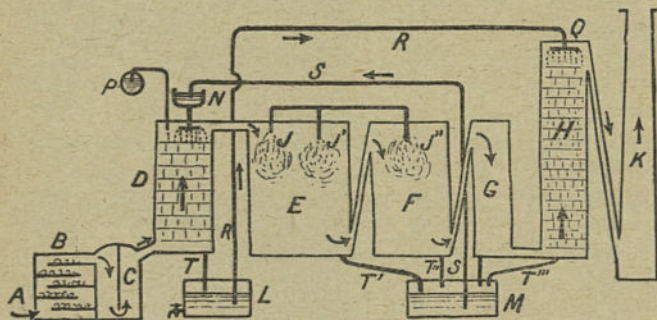


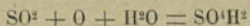
Fig. 232. — Disposition générale des chambres de plomb pour la fabrication de l'acide sulfurique. Représentation schématique.

formés de tablettes horizontales disposées en chicane (fig. 232, B) sur lesquelles on étale la pyrite concassée ; la combustion, une fois amorcée par un feu de fagots, se continue d'elle-même, comme cela aurait lieu pour du charbon ; la différence est que ce dernier, tout en brûlant, reste semblable à lui-même, conservant la même énergie de combustibilité, tandis que la pyrite se décompose en laissant de l'oxyde de fer et perd progressivement sa faculté de brûler facilement. Si donc l'on voulait épuiser complètement cette pyrite de son soufre, il faudrait la laisser fort longtemps dans le four, pour arriver à n'obtenir

que de faibles quantités de gaz sulfureux; le *rendement* de l'appareil s'en trouverait considérablement diminué. On obvie à cet inconvénient en organisant *methodiquement* l'opération, et nous allons comprendre maintenant la raison d'être de la disposition en cascade, adoptée pour les tablettes. Le four étant en marche depuis un certain temps, la pyrite des tablettes inférieures, qui a constamment subi l'action de l'air neuf, est presque épuisée en soufre; sa combustibilité est réduite au minimum. Au contraire, la matière des tablettes supérieures n'a pu brûler qu'incomplètement en présence d'un air déjà appauvri en oxygène; alors, au moyen d'un ringard en fer, faisons descendre dans le cendrier la pyrite épuisée qui garnit la première tablette inférieure; sur celle-ci, faisons tomber la matière moins épuisée de la seconde, de même celle de la seconde sur la troisième, et ainsi de suite jusqu'à la dernière, qui recevra un chargement de pyrite neuve. Dans ces conditions, nous compensons la diminution de combustibilité de la pyrite par une augmentation d'activité du comburant, nous équilibrons en quelque sorte la marche des réactions et nous rendons *continu* le fonctionnement du four. La figure 232, B représente un tel four utilisé pour la première fois par les établissements *Malétra*: le four américain à *palettes tournantes* en est un perfectionnement qui évite la manœuvre pénible et malsaine du déchargement et du chargement des tablettes.

Dans le four *Maletra*, l'air extérieur arrive par A, agit successivement sur la pyrite des diverses tablettes de B, et, transformé ainsi en un mélange d'azote, de gaz sulfureux et d'oxygène en excès, il traverse une *chambre à poussières* C, où la majeure partie de celles-ci se dépose, et arrive à la température de 300° à 350° à la partie inférieure de l'espace D, appelé le *Glover*, dont il va être question par la suite.

**Procédé des chambres de plomb.** — Dans ce procédé, on cherche à combiner ensemble les trois corps suivants: le gaz sulfureux SO<sup>2</sup>, l'oxygène O emprunté à l'air, et enfin l'eau H<sup>2</sup>O, de manière à réaliser la réaction:





Cette combinaison commence déjà à s'effectuer peu à peu à la température ordinaire, mais trop lentement au point de vue industriel. On la rend beaucoup plus rapide en faisant intervenir certains corps qu'on retrouve à peu près intacts à la fin de la réaction : ce sont les *vapeurs nitreuses*, mélange de divers composés oxygénés de l'azote : bioxyde, peroxyde, etc. Parmi les explications proposées pour faire comprendre le rôle de ces corps intermédiaires, une des plus simples est la suivante : (le peroxyde ( $AzO^2$ ), dont la vapeur est rouge foncé, est un *oxydant*, c'est-à-dire qu'il cède facilement la moitié de son oxygène à certaines substances combustibles; c'est ainsi que l'oxyde de carbone (CO) se trouve transformé en gaz carbonique ( $CO^2$ ) d'après la réaction  $CO + AzO^2 = CO^2 + AzO$ . Ce dernier corps ( $AzO$ ) appelé bioxyde d'azote, ou encore *nitrosyle*, est un gaz incolore qui, étant mis simplement en contact avec l'air, s'empare immédiatement de l'oxygène de celui-ci et reconstitue le peroxyde  $AzO^2$ , qui peut alors recommencer à jouer son rôle primitif; c'est donc un *transporteur d'oxygène* et il n'est pas absurde de supposer qu'il agit selon le même processus vis-à-vis du gaz sulfureux ( $SO^2$ ). Il est vrai que ce dernier n'est pas combustible comme CO, mais il est néanmoins très avide d'oxygène, ce qui suffit pour rendre l'explication plausible; d'après cela, il se passerait donc les réactions suivantes :

1<sup>re</sup> phase, oxydation du gaz sulfureux :  $SO^2 + AzO^2 \rightleftharpoons SO^3 + AzO$ , nous mettons le double signe  $\rightleftharpoons$  indiquant qu'il s'agit d'un *équilibre réversible* (réaction limitée par l'inverse).

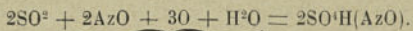
2<sup>e</sup> phase. Les corps formés suivent ensuite les directions suivantes :

a) Le bioxyde ( $AzO$ ) se trouvant mis en présence d'une nouvelle quantité d'air neuf, absorbe immédiatement de l'oxygène et repasse à l'état de peroxyde ( $AzO^2$ ), prêt à resservir.

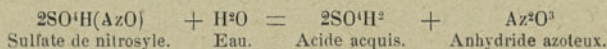
b) L'anhydride sulfurique ( $SO^3$ ) se combine immédiatement à la vapeur d'eau injectée dans les appareils et forme l'acide sulfurique  $SO^3.H^2O$ , ou  $SO^3H^2$ , lequel se condense immédiatement à l'état de gouttelettes liquides, se séparant ainsi des autres corps avec lesquels il concourait à l'équilibre chimique; cette rupture d'équilibre, par disparition d'un des constituants,

rend possible la formation d'une nouvelle quantité de  $\text{SO}^3$  par l'action du  $\text{AzO}^2$  régénéré. On voit ainsi qu'une quantité limitée de ce dernier corps peut servir à transformer une quantité théoriquement illimitée de gaz sulfureux en acide sulfurique. En pratique, il y a des pertes de vapeurs nitreuses qu'il faut compenser par une addition convenable de vapeurs d'acide azotique.

Une autre explication moins simple consiste à faire intervenir la formation d'un corps transitoire, le sulfate de nitrosyle  $\text{SO}^4\text{H}(\text{AzO})$  que l'on peut, en effet, obtenir cristallisé sur les parois d'un ballon de verre où l'on fait arriver du gaz sulfureux, du bioxyde d'azote et de l'air humide; il se fait la réaction :



L'ensemble des corps réunis par une accolade est l'équivalent de  $2\text{AzO}^3\text{H}$ , c'est-à-dire de deux molécules d'acide azotique; aussi, dans cette expérience, l'acide azotique peut-il remplacer à lui seul les trois corps en question. L'atmosphère du ballon, d'abord rouge à cause de la formation du peroxyde (d'après  $\text{AzO} + \text{O} = \text{AzO}^2$ ), se décolore peu à peu par l'arrivée du gaz  $\text{SO}^2$  et l'on voit apparaître sur les parois le feutrage blanc des cristaux. Si l'on vient ensuite à verser un excès d'eau, les cristaux se dissolvent en faisant entendre un bruissement particulier, et les vapeurs rutilantes réapparaissent; on peut les faire disparaître de nouveau en faisant arriver du gaz  $\text{SO}^2$ . Quant au liquide, il contient de l'acide sulfurique, comme en témoignent les essais chimiques auxquels on peut le soumettre. L'action de l'eau en excès a donc produit une réaction telle que celle-ci, ou une autre analogue :



Pratiquement, le sulfate de nitrosyle ne cristallise pas dans les chambres de plomb, parce qu'il est soluble dans l'acide sulfurique formé; on a même remarqué que son apparition éventuelle est l'indice d'une marche anormale des appareils.

Les chambres de plomb où se produisent les réactions pré-



cédentes sont ainsi appelées parce qu'elles se composent de lames de plomb assemblées par soudure autogène (plomb sur plomb) et soutenues par une charpente en bois. Leur forme est parallélépipédique et leur volume, qui se chiffre par quelques milliers de mètres cubes pour la première E, va en décroissant pour la seconde F et est encore moindre pour la troisième et dernière G. Le mélange de gaz sulfureux et d'air sortant du four à pyrites passe dans la chambre à poussières C où il se débarrasse des fines particules solides entraînées ; ensuite, les gaz, encore trop chauds, montent dans une tour D appelée *Glover*, dont nous expliquerons le rôle plus complètement tout à l'heure, où ils se refroidissent suffisamment et où ils se chargent de vapeurs nitreuses ; ils arrivent ainsi, à l'état convenable, dans la première chambre E où ils rencontrent des jets de vapeur d'eau JJ' ; c'est dans cette vaste capacité que se produit la plus grande partie de l'acide sulfurique, lequel forme un brouillard de gouttelettes denses qui se déposent peu à peu et se réunissent, à la partie inférieure, en une couche liquide marquant approximativement 52° Bé (aréomètre de *Baumé*), limite qu'on ne peut dépasser dans cette région. La réaction se poursuit dans la deuxième chambre, où arrive encore un jet de vapeur J'', et est presque nulle dans la troisième, où l'on ne met pas d'eau, par conséquent, et qui ne sert qu'à recueillir les gouttelettes qui ne seraient pas déposées dans les espaces précédents.

Arrivé à ce point, comment est constitué le mélange gazeux ? Il est fortement chargé de vapeurs nitreuses, dont le rejet pur et simple dans l'atmosphère constituerait une perte onéreuse pour Fusine et une cause de dévastation pour tout le voisinage vivant, animal et végétal. Il est donc absolument nécessaire de capter rigoureusement ces produits nitreux ; dans ce but, entre la grande cheminée K de tirage et la troisième chambre G, on intercale une tour H dite de *Gay-Lussac*, revêtue de plomb et remplie de coke ou de briques siliceuses formant un dédale de canaux sur lequel tombe, d'en haut, par le dispositif Q, une pluie d'acide sulfurique à 60° Bé, dépourvu de produits nitreux, et puisé à la partie inférieure de la tour de Glover, par l'inter-



médiaire du réservoir L et du tube R où le liquide est refoulé par de l'air comprimé. Les vapeurs nitreuses et le sulfate de nitrosyle étant solubles dans l'acide sulfurique concentré, ces produits sont arrêtés et il ne s'échappe alors, par la cheminée, que de l'azote à peu près pur, celui qui se trouvait dans l'air aspiré en A, à l'entrée des appareils.

Il s'agit, maintenant, de recueillir l'acide sulfurique des chambres et de le dépouiller, lui aussi, des produits nitreux qui le rendent inutilisable dans beaucoup d'applications. C'est alors qu'apparaît le rôle de la tour de Glover, que nous avons laissé de côté provisoirement, parce que, quoique placée à l'entrée des appareils et jouant dès le début de la fabrication, elle est néanmoins le lieu de terminaison de celle-ci. Cet appareil se compose d'une tour D revêtue intérieurement de plomb et contenant une superposition de briques siliceuses offrant une grande surface. A la partie supérieure de cette tour, on fait arriver et tomber en pluie l'acide à 52° B<sup>e</sup> des chambres et l'acide plus concentré, mais nitreux lui aussi, qui provient de la partie inférieure du Gay-Lussac ; ces mouvements de liquide sont obtenus au moyen d'un système compliqué de tuyaux que nous avons schématisé en T' T'' T''' aboutissant au réservoir M, pour partir de là, refoulé par l'air comprimé, dans le tuyau S, qui l'amène en N. En réalité, chaque chambre, ainsi que le Gay-Lussac, a son réservoir spécial et son *monte-acide*. On fait aussi écouler une petite quantité d'acide azotique, venant de P, destiné à compenser les pertes inévitables de produits nitreux. Ceci posé, voici les rôles multiples du Glover :

1<sup>o</sup> *Refroidisseur*. — Le Glover refroidit, jusqu'à 70° environ, les gaz qui viennent des fours et qui, par suite de leur température trop élevée, ne pourraient réagir une fois arrivés dans les chambres. Il commence ainsi à se produire une *petite* quantité d'acide sulfurique dans le Glover ;

2<sup>o</sup> *Dessiccateur*. — Sous l'action des gaz très chauds, à 300° ou 400°, qui viennent des fours à pyrites, la pluie d'acide sulfurique abandonne une grande partie de son eau, si bien

que le liquide, une fois arrivé en bas du Glover, marque, en effet,  $60^{\circ}$  à  $62^{\circ}$  B $\acute{e}$ , au lieu de  $55^{\circ}$  à  $56^{\circ}$  B $\acute{e}$  1 ;

3 $^{\circ}$  *Dénitrificateur*. — Ces gaz sulfureux, chauds et secs, sont, non seulement avides d'eau, mais aussi de vapeurs nitreuses, de sorte que l'acide qui coule au bas du Glover est très fortement dénitrifié; c'est un produit marchand; mais, comme nous l'avons vu, une partie en est prélevée pour être déversée en Q à la partie supérieure du Gay-Lussac.

*Perfectionnement aux chambres*. — Une nouvelle dispo-

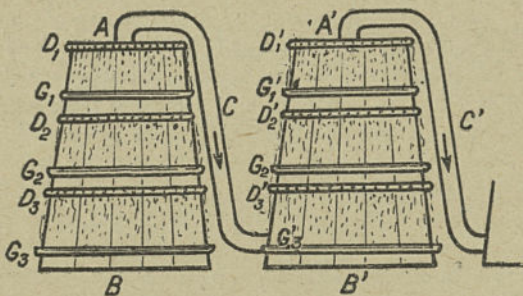


Fig. 233. — Chambres tronconiques de MM. Mills et Packard pour la fabrication de l'acide sulfurique.

sition, encore peu répandue et appliquée en Angleterre par MM. Mills et Packard, consiste à donner aux chambres une forme tronconique AB, A'B' (fig. 233) et à les refroidir extérieurement. A cet effet, des tuyaux perforés  $D_1D_2D_3$ ,  $D'_1D'_2D'_3$ ... laissent couler sur les parois une nappe d'eau froide recueillie par des « gouttières circulaires »  $G_1G_2G_3$ , ... On peut, à volonté, soit refroidir la surface entière, ou seulement la partie supérieure, ou moyenne, ou inférieure, et cela d'une manière indépendante, selon les conditions plus ou moins favorables à réaliser en vue du rendement maximum.

1. Le liquide des chambres, qui ne marque que  $52^{\circ}$  B $\acute{e}$ , se trouve remonté de degré par celui qui s'écoule par T''' du bas du Gay-Lussac, plus concentré.

L'expérience montre nettement que ce refroidissement a pour effet de faciliter les condensations intérieures, d'accroître la production d'acide sulfurique, de diminuer la consommation d'acide nitrique et d'affaiblir notablement l'altération du plomb de revêtement, comme en témoignent l'insignifiance du dépôt de blanc de plomb (sulfate) dans les chambres et la rareté des travaux de réparation.

*Purification.* — Il y a, dans l'acide des chambres, un peu de *plomb* à l'état de sulfate, provenant d'une faible attaque des parois des chambres ou des tours, souvent de l'*arsenic* provenant des pyrites, et enfin des *vapeurs nitreuses* et diverses autres impuretés moins importantes. Tous ces produits étrangers sont éliminés par l'action de réactifs chimiques appropriés et en proportion calculée.

*Concentration.* — La concentration consiste à dépouiller l'acide de la plus grande partie de l'eau qu'il contient, de façon à l'amener à marquer 66° Bé et à peser 1 kg., 844 au litre. Cette opération présente de très grandes difficultés tenant à la viscosité de l'acide et à l'action corrosive qu'il exerce sur les récipients dans lesquels on le chauffe.

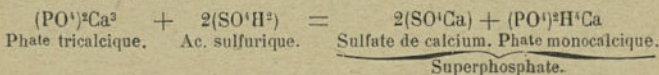
La concentration s'opère en deux étapes et porte sur l'acide à 52° Bé des chambres, abstraction faite de celui qui a dû être employé pour le fonctionnement du Glover. Dans une première étape, l'acide est contenu dans une série de bacs en plomb disposés en cascade et communiquant par des siphons; par le moyen de ceux-ci, le liquide se rapproche progressivement du foyer, au fur et à mesure qu'il se concentre (*concentration méthodique*); mais on ne peut dépasser le terme de 60°—62° Bé, à partir duquel le plomb serait attaqué, et à plus forte raison atteindre 66° Bé, qui correspond à une température (338°) à laquelle le plomb fondrait.

La seconde étape de concentration est poussée jusqu'à 66° Bé et doit s'effectuer sur ou contre des parois sensiblement inattaquables. On peut opérer soit par ébullition, soit par évaporation; le premier de ces moyens était seul employé autrefois et l'on se servait de cornues en platine doré, qui avaient l'inconvénient de coûter fort cher, d'immobiliser par suite un capital



important et, en outre, de se corroder sensiblement ; aussi les remplaçait-on quelquefois par des appareils en verre ou en porcelaine, qui avaient alors le défaut d'être fragiles. Aussi, un grand progrès a-t-il été réalisé par l'adoption, dans toutes les grandes installations, du procédé *Kessler*, basé sur l'évaporation et l'emploi de la *lave de Volvic*, inattaquable à chaud et non friable. L'opération est méthodique et comporte le jeu de deux courants inverses : l'un d'acide circulant sur des gradins de lave et l'autre d'air chaud, envoyé par un ventilateur, venant lécher les nappes d'acide et les dépouillant de leur eau, tout en entraînant cependant quelques embruns d'acide que l'on arrête par passage dans une caisse à coke, avant l'expulsion dans l'atmosphère.

**Usages.** — L'acide sulfurique critérium de prospérité générale ; engrais et natalité ; le blé et la vigne ; la soude, les produits chimiques et pharmaceutiques, le glucose, les colorants, les explosifs... — Certaines industries utilisent l'acide brut des chambres ; c'est ainsi que la fabrication des *superphosphates* absorbe la moitié de la production de l'acide à 52° B<sup>e</sup> ; dans cette opération, on fait agir l'acide sur le phosphate de chaux naturel (phosphorite), ou phosphate *tricalcique*, de façon à le transformer en phosphate *monocalcique* soluble, plus facilement assimilable par les plantes. L'opération s'effectue dans de grands cuiviers doublés de plomb où l'on agite le mélange de phosphate pulvérisé et d'acide ; comme proportion, on met deux molécules de ce dernier pour une de phosphate, de façon à éliminer deux atomes de calcium :



Il se forme ainsi un mélange de sulfate de calcium (plâtre) et de phosphate monocalcique, ce dernier étant la substance utile ; c'est ce mélange qui est vendu sous le nom de *superphosphate* et dont l'emploi comme engrais est indispensable pour la *culture intensive* des céréales.

L'acide des chambres sert encore à neutraliser et à fixer

l'ammoniaque retirée des eaux vannes, des eaux d'épuration du gaz de houille ou des cokeries, donc à produire un autre engrais indispensable qui est le *sulfate d'ammoniaque*. Indiquons, en passant, que notre pays est plutôt en retard quant à l'emploi des fertilisants nécessaires à l'obtention des hauts rendements culturaux : nitrate de soude, superphosphate, sulfate d'ammoniaque, kaïnite (sels de potassium divers). Pour atteindre ces hauts rendements, normaux en Belgique par exemple, on a calculé que nos cultivateurs devraient répandre, sur leurs 24 millions d'hectares d'emplavements labourables, les quantités suivantes :

10 millions de tonnes de superphosphate,	au lieu de 1 200 000 ;
1 — — — de sulfate d'ammoniaque,	— 100 000 ;
300 000 tonnes de sels de potassium (kaïnite, etc.),	— 70 000

et tout à l'avenant.

Les Allemands répandent 23 kilogrammes de nitrate à l'hectare ; nous, seulement la moitié. L'industrie des superphosphates exigeait en Allemagne, avant la grande guerre mondiale, l'emploi de 1 400 000 tonnes d'acide sulfurique, qu'elle a dû détourner de leur destination pacifique (à cause du blocus) pour l'utiliser à la fabrication des explosifs, et ce, au grand dam de ses récoltes et de ses subsistances. En somme, il ne suffit pas de confier le blé à la terre, il faut aussi semer le fertilisant alibile, la parcelle minérale, qui est à la fois le condiment et l'aliment vigorateur du végétal. Une population nombreuse, nécessaire à la prospérité de l'État, ne peut ni se développer ni même se maintenir sans l'abondance du blé. Les grandes civilisations antiques ont fleuri sur des terres à blé et ont disparu avec la fertilité du sol par suite de l'épuisement de celui-ci. Le phosphate fait venir le grain nourricier, et le blé abondant appelle la natalité.

L'acide peu concentré des chambres est encore employé tel quel pour l'obtention du sulfate d'alumine et des aluns, au moyen des argiles ; pour celle du sulfate de soude, au moyen du sel marin, ce sulfate étant ensuite transformé en carbonate par le procédé Leblanc (voir plus loin). Sous ce rapport, la France est favorisée par ses gisements de pyrites, qui lui per-



mettent de fabriquer beaucoup d'acide sulfurique, et par ses salines, tant métropolitaines qu'africaines; cet ensemble de conditions devrait lui permettre de développer davantage sa production et son exportation de soude.

L'acide purifié sert au décapage des métaux, à l'affinage de l'or, à la fabrication du sulfate de cuivre, ou vitriol bleu, qui est l'ingrédient principal de la bouillie dite *bordelaise* servant au sulfatage des vignes et indispensable pour l'obtention de bonnes récoltes; cet acide sert encore à la transformation du papier en papier parchemin, à la fabrication des acides gras et des bougies stéariques, à l'épuration des huiles minérales (pétrole) et de la paraffine, etc. L'acide pur, au soufre, trouve son emploi dans l'industrie des produits chimiques et pharmaceutiques, dans le fonctionnement des accumulateurs, dans la transformation de l'amidon en glucose, dans la fabrication des matières colorantes et des explosifs: une tonne de poudre exige pour sa fabrication l'emploi de 4 tonne d'*oleum* (acide *fumant* contenant de l'anhydride  $\text{SO}_3$  dissous dans l'acide; de même une tonne d'acide *picrique* (*mélinite*) demande 4 tonnes d'acide sulfurique. L'industrie, la science, la pyrotechnie... exigent donc l'emploi annuel de millions de tonnes de cet acide, qui, on peut le dire, domine toute l'industrie chimique et dont la quantité consommée peut être considérée comme le critérium de la prospérité générale.

C'est à proprement parler, l'acide énergique à bon marché, comme la chaux est la base industrielle par excellence.

**Procédé de contact.** — Le procédé des chambres de plomb a été longtemps le seul en usage, mais, depuis un certain nombre d'années, il est concurrencé par un nouveau venu, le *procédé de contact*, ainsi appelé parce qu'il consiste à faire réagir le gaz sulfureux et l'oxygène de l'air au contact de la mousse de platine, vers la température de 300°.

L'anhydride sulfureux est obtenu, soit par la combustion du soufre, lequel convient particulièrement bien ici à cause de la pureté du gaz produit et des bons rendements qui en résultent, soit par la combustion des pyrites ou des blends, mais alors le gaz sulfureux ainsi engendré doit ensuite être parfaitement



purifié par injection d'air et de vapeur d'eau en quantité convenable, afin d'entraîner les poussières arsenicales et autres, sous forme de boues qui se déposent. Si l'on ne prenait pas cette précaution essentielle, le platine perdrait rapidement son *pouvoir catalyseur* de transformation et l'opération serait bientôt impossible industriellement. Le gaz sulfureux purifié est ensuite desséché par passage sur de l'acide sulfurique préalablement formé, et on contrôle sa pureté par l'observation de sa transparence à travers un long tube dont les extrémités sont fermées par des lames de verre.

La mousse de platine, ou platine poreux, n'est pas employée en masse continue, mais sous forme d'une infinité de petits grains microscopiques imprégnant une substance neutre telle que l'amiante; c'est ce qu'on appelle de l'*amiante platinée*. Pour obtenir celle-ci, on immerge l'amiante bien propre dans une solution concentrée de chlorure de platine additionnée de bicarbonate et de formiate de soude et on porte la matière à la température de 100°, le chlorure de platine est alors décomposé avec mise en liberté de métal très divisé, qui reste fixé dans les pores de l'amiante, et formation de diverses autres substances solubles qu'on élimine par un lavage soigné à l'eau distillée; on laisse ensuite sécher, et la matière est prête pour l'usage.

La théorie de la fabrication par catalyse est très simple et s'exprime par la réaction

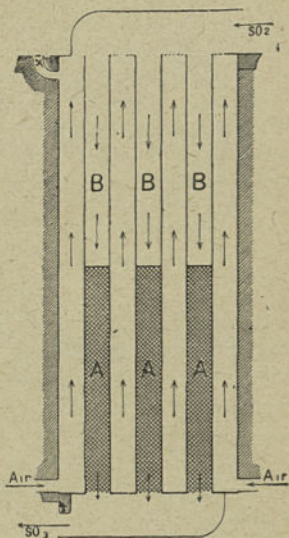
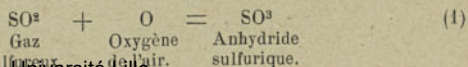
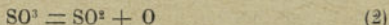


Fig. 234 — Tubes à amiante platinée pour la fabrication de l'anhydride sulfureux.

Au-dessous de 300°, la réaction est nulle ; au-dessus de 400°, rendement est très faible par suite de la réaction inverse



qui tend à se produire et qui, par conséquent, limite la première. Or, comme celle-ci dégage de la chaleur, il faut combattre cet échauffement afin de ne pas diminuer le rendement, tout en maintenant la température un peu au-dessus de 300°. On obtient ce résultat en appliquant le principe du *contre-courant* ; l'appareil consiste en une série de tubes (fig. 234), dont les uns sont vides et servent à l'arrivée de l'air froid venant du dehors, tandis que les autres B contiennent, à leur partie inférieure A, de l'amianté platinée ; le gaz sulfureux arrive à la partie supérieure. Par cette disposition, on comprend que la chaleur dégagée par la réaction  $\text{SO}^2 + \text{O} = \text{SO}^3$  sera captée en partie par l'air circulant dans les tubes contigus, ce qui limitera toute élévation intempestive de température. L'anhydride sulfurique  $\text{SO}^3$  se dégage par la partie inférieure.

On a cherché à remplacer la mousse de platine, coûteuse, par d'autres matières telles que l'oxyde ferrique (cendres de pyrites chaudes), etc. Ceci explique pourquoi le gaz des fours à pyrite contient déjà une certaine proportion du corps  $\text{SO}^3$ , en plus de  $\text{SO}^2$ .

Une fois l'anhydride sulfurique  $\text{SO}^3$  ainsi obtenu, on peut s'en servir pour fabriquer d'emblée, en l'ajoutant à une proportion d'eau convenable, tout acide sulfurique de composition demandée *a priori*, même plus riche que celle qui correspondrait à la formule  $\text{SO}^4\text{H}^2$  ; ainsi, on peut réaliser la proportion  $\text{H}^2\text{O} + 2\text{SO}^3$  ou  $\text{S}^2\text{O}^7\text{H}^2$ , dit *acide fumant*, ou disulfurique, qu'on préparait jadis péniblement à Nordhausen par la distillation du vitriol vert. Enfin, ajoutons que les acides obtenus par le procédé de contact sont intéressants par l'absence d'arsenic et de composés nitrés, ce qui est précieux pour la fabrication des matières colorantes. Néanmoins, le procédé des chambres n'est pas abandonné parce qu'il reste plus économique pour les acides pas trop concentrés que réclament la fabrication des superphosphates et celle de la soude.

**Procédé nouveau.** — On calcine un mélange de *gypse*, ou pierre à plâtre (sulfate de chaux), d'argile et d'oxyde de fer, dans des fours rappelant ceux utilisés pour la fabrication du ciment. Il se dégage un gaz composé d'anhydrides sulfureux



( $\text{SO}^2$ ) et carbonique ( $\text{CO}^2$ ) que l'on sépare, et il reste une matière solide ayant la propriété de faire prise comme un ciment. Le gaz  $\text{SO}^2$  est ensuite transformé en acide sulfurique.

### Acide azotique.

L'acide azotique, encore connu sous le nom d'*eau-forte* ou d'acide *nitrique*, s'obtient en faisant agir l'acide sulfurique sur une matière naturelle, l'*azotate de soude*, qu'on trouve en quantités considérables dans le désert d'Atacama, au nord du Chili. La roche, telle qu'elle existe à peu de profondeur dans le sol, porte le nom de *caliche* et s'exporte par pleins bateaux à destination de l'Europe et des États-Unis; elle sert principalement comme *engrais* et pour la fabrication de l'*acide azotique* et de l'*iode* (la caliche contient diverses matières étrangères, notamment de l'*iodate de sodium*).

En vue de l'obtention industrielle de l'acide nitrique, le nitrate de sodium est chauffé avec de l'acide sulfurique provenant du Glover, donc marquant  $60^\circ$  à  $62^\circ$  Baumé.

On opère dans une chaudière en fonte très peu attaquable, comme nous le savons, par l'acide sulfurique concentré ainsi que par l'acide azotique en *vapeur*; mais comme, au contraire, l'acide azotique condensé à l'état liquide rongerait rapidement la fonte, on ferme la partie supérieure de la chaudière au moyen d'un couvercle en grès, luté ou jointoyé avec de l'argile (fig. 235).

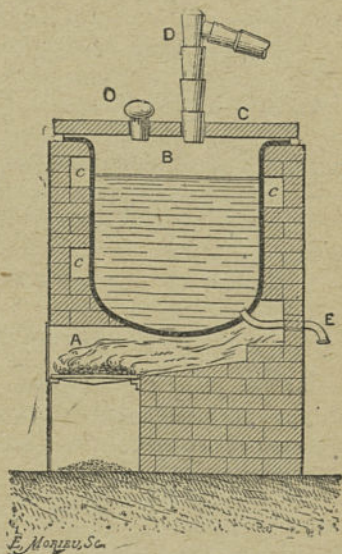


Fig. 235. — Fabrication de l'acide nitrique.



L'acide sulfurique est introduit par l'ouverture O ; les vapeurs nitriques se dégagent par un tuyau en poterie D et, de là, se rendent dans une série de bonbonnes en grès dans lesquelles circule, en sens inverse, un courant d'eau qui condense et dissout les vapeurs acides ; les dernières traces de celles-ci sont captées finalement dans une tour de condensation T, analogue au *Gay-Lussac* des chambres de plomb, et du haut de laquelle

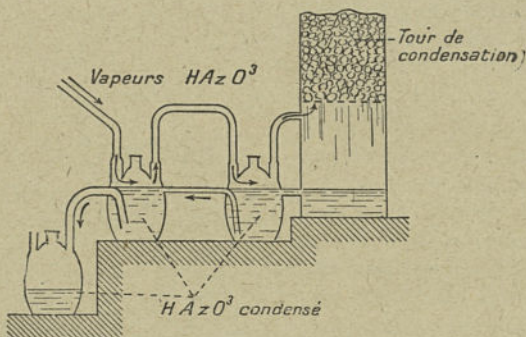
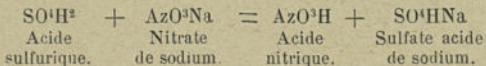


Fig. 236. — Bonbonnes à condensation de l'acide nitrique.

tombe une pluie d'eau (fig. 236). C'est cette eau, déjà un peu nitrique, qui circule dans les bonbonnes en s'y enrichissant progressivement en acide et arrivant ainsi à marquer 36° Baumé.

La réaction est représentée par l'équation chimique



D'après cette égalité, on voit que le résidu de l'opération est constitué par du sulfate de sodium qu'on évacue, à l'état fluide, par le tube E.

**Purification.** — L'acide ainsi obtenu est mélangé de diverses matières étrangères parmi lesquelles nous signalerons : l'acide chlorhydrique provenant de la présence d'un peu de chlorure de sodium dans le nitrate impur ; de l'acide sulfurique entraîné et des vapeurs nitreuses qui colorent l'acide en jaune.

On élimine les acides étrangers par l'addition d'une quantité convenable d'azotate de plomb, ce qui détermine la formation d'un précipité de sulfate et de chlorure de plomb qu'on enlève. Le liquide limpide est soumis à une redistillation et les vapeurs nitreuses sont éliminées par le passage d'un courant d'air dans l'acide chauffé dans le voisinage de 85° centigrades.

**Acide très concentré fumant.** — Si l'on veut obtenir de l'acide tout à fait pur et concentré, on le prépare en partant de produits absolument purs : nitrate bien desséché, acide sulfurique à 66° Bé, et opérant sous une pression très réduite (appareil *clos* où l'on fait le vide, tube réfrigérant pour condenser les vapeurs). On arrive ainsi à un acide incolore, fumant très fortement à l'air humide (acide *fumant*) et marquant 50° à 51° Bé.

**Usages.** — Colorants et explosifs; soie artificielle; gravure. — L'acide nitrique de concentration moyenne sert à décaper les métaux et à graver le cuivre, ce qui lui a valu son nom d'*eau-forte*. L'acide fumant est employé en grandes quantités pour la fabrication des matières colorantes et des explosifs : nitroglycérine et dynamite, nitro cellulose, poudre sans fumée, acide picrique et autres phénols nitrés (mélinite, etc.), soie artificielle, etc.

#### FIXATION DE L'AZOTE ATMOSPHERIQUE; ACIDE NITRIQUE ET AMMONIAQUE DE SYNTHÈSE

**Importance économique de la question.** — Tout le monde sait que l'air respirable est un mélange de divers gaz, dont les principaux sont l'*azote* et l'*oxygène*, ce dernier jouant seul un rôle actif dans les phénomènes de la respiration et de la combustion.

Le rôle de *diluant* dévolu à l'azote paraît donc d'abord bien effacé. Cependant, cet élément chimique est un constituant indispensable des organismes vivants, et toute culture deviendrait impossible dans un sol qui en serait totalement dépourvu. Les rendements culturaux intensifs exigent que l'on fournisse à la terre une quantité notable d'engrais azotés, soit sous forme

de nitrates (salpêtres divers), soit sous forme ammoniacale ou autre. L'industrie a, en outre, besoin de quantités de plus en plus considérables d'acide nitrique (acide azotique, eau forte) pour une foule d'usages chimiques ou autres : explosifs, colorants, soie artificielle, etc. ; cet acide était, jusqu'à ces dernières années, exclusivement obtenu en partant du nitrate de soude comme matière première. Or, le principal gisement de ce nitrate est celui qui existe dans le désert d'Atacama, au nord du Chili : et la France en importe tous les ans pour plus de 80 millions, qu'elle doit solder par une sortie d'or équivalente ; on voit donc quel est l'intérêt économique *immédiat* de la question. Il y en a un autre, regardant l'avenir ; quelle que soit sa puissance actuelle, le gisement chilien s'épuisera un jour, et il est bon de prévoir une source nouvelle de remplacement ; d'autre part, les besoins généraux de l'agriculture et de l'industrie en produits azotés sont si grands qu'il y a place pour toutes les initiatives. On voit donc l'intérêt qui s'attache au problème de la *fixation directe de l'azote atmosphérique* sur l'oxygène ou l'hydrogène, c'est-à-dire à ce qu'on appelle la *synthèse* de l'acide nitrique ou des nitrates et à celle de l'ammoniaque<sup>1</sup>.

Mais une énorme difficulté réside dans ce qu'on appelle parfois l'inertie chimique de l'azote, cet élément refusant de se combiner directement à la plupart des corps connus ; aussi est-ce par la mise en œuvre de moyens exceptionnels : haute température de l'arc électrique, fortes pressions, emploi de catalyseurs<sup>2</sup>, que l'on parvient à souder l'atome d'azote à ceux de l'oxygène ou de l'hydrogène. Dans ce qui va suivre, nous allons exposer brièvement le principe des synthèses industrielles des nitrates et de l'ammoniaque, ainsi que celle de quelques autres composés analogues.

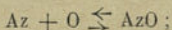
1. L'ammoniaque répond à la formule chimique  $AzH^3$  ou  $NH_3$ , montrant que ce corps est composé d'azote et d'hydrogène. L'acide nitrique est  $AzO^3H$  (Az ou N, azote ; O, oxygène (3 atomes) ; H, hydrogène). A l'étranger, on représente l'azote par N (initiale du mot *nitre* ; pour un Français, le symbole Az est aussi bien, sinon mieux, puisque nous continuons à dire *Azote*, comme l'a fait Lavoisier.

2. Pour la signification de ce mot, voir la note 2, en bas de la page 84.



## 1° Fabrication synthétique du nitrate de calcium.

**Principe.** — Il ne faut pas être grand clerc en chimie pour comprendre la difficulté qu'il y a de combiner l'azote et l'oxygène, si l'on réfléchit qu'il est possible d'allumer une bougie, un foyer, sans risquer de provoquer la conflagration générale des deux gaz de toute l'atmosphère terrestre. C'est seulement à la haute température de l'arc électrique qu'une petite partie — bien faible — des éléments de l'air consent à entrer en combinaison : un atome d'oxygène O et un atome d'azote Az se réunissent pour former une molécule d'oxyde azotique, ou bioxyde d'azote, gaz incolore que l'on formule AzO (ou NO). Mais cette union est bien précaire, fragile, car ce corps, aussitôt né, ne demande qu'à mourir; disons qu'il tend à se décomposer en régénérant l'azote et l'oxygène. La réaction est donc incomplète, puisqu'elle est limitée par la réaction inverse et donne lieu à ce qu'on appelle un état d'*équilibre réversible*<sup>1</sup>, formulé par l'équation :

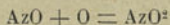


le signe  $\rightleftharpoons$  indiquant que l'égalité peut être lue à volonté, de gauche à droite ou de droite à gauche. Le premier cas correspond à la combinaison des deux gaz, laquelle est *endothermique*, c'est-à-dire accompagnée d'une absorption de chaleur. Or, c'est un fait général dans la théorie des équilibres chimiques réversibles qu'une *combinaison absorbant de la chaleur a lieu en proportion d'autant plus notable qu'on l'effectue à une température plus élevée*, ce qui nous explique pourquoi nous faisons intervenir l'action de l'arc électrique.

Mais il ne suffit pas de construire la molécule AzO de bioxyde d'azote, il faut l'empêcher de se démolir d'elle-même par refroidissement *progressif*; dans ce but, on emploie l'artifice du *refroidissement brusque* : le gaz, aussitôt formé, est

1. Voir, pour les réactions réversibles et les équilibres qui en découlent, la note 1 de la page 84.

amené en un rien de temps à la température ordinaire ; étant ainsi saisi brusquement, comme figé et paralysé dans ses moyens d'évolution, il n'a pas le temps de se décomposer sensiblement. Ce résultat favorable est dû à deux causes distinctes : 1<sup>o</sup> la décomposition de  $AzO$ , comme toute transformation chimique, exige, pour s'accomplir, un temps fini, souvent très faible, voire même immesurable, mais jamais rigoureusement nul ; 2<sup>o</sup> l'abaissement de température tend à freiner toutes les réactions chimiques, combinaisons et décompositions, c'est-à-dire à diminuer très fortement leur vitesse, et fait entrer les corps dans ce qu'on appelle la *zone de frottement* chimique ou de *faux équilibre*. On conçoit donc qu'il s'agit ici comme d'une lutte de vitesse : effectuer le refroidissement en un temps plus court que n'en exige la décomposition d'une quantité appréciable de bioxyde d'azote. Cet ingénieux artifice d'*attaque brusquée* par refroidissement a été imaginé et appliqué pour la première fois par l'illustre chimiste français Henri Sainte-Claire Deville, dans ses mémorables expériences sur la *disso-ciation* (tube dit « chaud et froid »)<sup>1</sup>. Le moyen de refroidissement mis en œuvre ici est l'entraînement du bioxyde aussitôt formé par un violent courant d'air. Le premier pas, et le plus difficile, est ainsi franchi : celui de construire la molécule  $AzO$  et de la garder intacte. Le second pas est facile ; le bioxyde d'azote, mis simplement en présence de l'air, capte immédiatement l'oxygène de celui-ci en donnant lieu à la formation d'un gaz rutilant répondant à la formule  $AzO^2$  et appelé peroxyde d'azote, selon l'équation simple :



Enfin, le troisième et le dernier pas consiste à faire absorber ce peroxyde d'azote par une solution alcaline, généralement par un lait de chaux, ce qui aboutit à la formation de nitrate et de nitrite de chaux (on dit aussi nitrate, nitrite de calcium).

**Disposition des appareils.** — Le principe qui vient d'être exposé est le même dans tous les procédés ; parmi ceux-ci, nous citerons les suivants :

1. Voir les traités de chimie.



1<sup>o</sup> *Procédé Birkeland et Eyde*. — Pour augmenter l'étendue d'action de l'arc électrique, on s'arrange de façon à ce que celui-ci prenne la forme d'un véritable cercle de feu d'environ 2 mètres de diamètre. Ce résultat est obtenu de la manière suivante. L'arc jaillit (fig. 237, à gauche) entre deux électrodes EE formées chacune d'un fort tube de cuivre refroidi intérieurement par une circulation continue d'eau froide. Perpendiculairement à la direction de ces électrodes, on dispose les pièces polaires NS d'un fort électro-aimant (fig. 237, à droite); l'arc se forme ainsi dans le champ magnétique intense H..., H existant entre les pôles NS. Or, un courant qui circule dans un tel champ tend à être entraîné latéralement par celui-ci dans une direction *f*

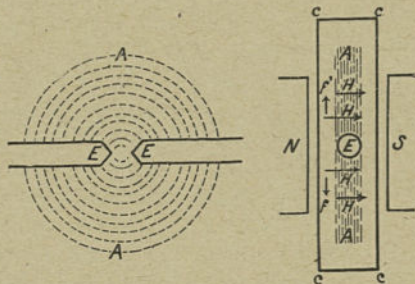


Fig. 237. — Arc électrique circulaire pour la combinaison de l'azote et de l'oxygène par le procédé Birkeland et Eyde.

ou *f'* (selon le sens du courant) *perpendiculaire au champ et au courant*; cette direction resterait fixe dans le cas d'un courant constant; mais si celui-ci est *alternatif* et change alors de sens un millier de fois par seconde, comme dans le cas présent, l'arc tend à se former tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, mille fois par seconde et prend alors l'aspect d'un cercle de feu fixe; celui-ci est entouré d'une caisse réfractaire C...C dans laquelle on insuffle environ 25.000 litres d'air extérieur par minute; AzO se forme ainsi dans la proportion d'environ 5 pour 100 de la masse gazeuse, au voisinage de 3000°, et est, de là, entraîné dans les *tours d'oxydation* ou la fabrication franchit, à froid, le second pas constitué par la réaction complémentaire facile:  $AzO + O = AzO^2$ , c'est-à-dire la fixation directe d'un nouvel atome d'oxygène sur la molécule AzO, ce qui aboutit à la formation du corps  $AzO^2$ , gaz rouge intense appelé peroxyde d'azote.



Le troisième pas de la fabrication consiste à envoyer le peroxyde d'azote dans les *appareils d'absorption* contenant une lessive alcaline, plus particulièrement un lait de chaux, qui capte le peroxyde en formant du nitrate de calcium  $(\text{AzO}^3)^2\text{Ca}$  et du nitrite de calcium  $(\text{AzO}^2)^2\text{Ca}$ . Ces sels sont séparés par différence de solubilité. Le nitrite est décomposé par un acide avec formation de produits nitreux que l'on renvoie aux tours d'oxydation et d'absorption. Finalement, le nitrate de chaux est recueilli, séché, emballé et expédié, surtout en vue de son emploi comme engrais ou comme matière de départ pour la préparation de l'acide nitrique (ou acide azotique).

2<sup>o</sup> *Procédé Schönherr*. — L'appareil ne comporte pas d'électro-aimant; il se compose d'un long tube métallique et d'une tige axiale formant les électrodes entre lesquelles jaillit l'arc électrique. Un courant d'air, dirigé obliquement, parcourt de bas en haut l'espace annulaire, et alors l'arc, sous cette influence, prend l'aspect d'une surface hélicoïdale fixe de position, mais glissant sur elle-même en tournant, à la manière d'une vis. L'azote et l'oxygène se combinent à l'état de bioxyde  $\text{AzO}$  entraîné par l'air et amené ensuite aux tours d'oxydation et d'absorption.

Le procédé Birkeland et Eyde et celui de Schönherr sont appliqués sur une large échelle en Norvège où, grâce à des chutes d'eau puissantes, l'énergie électrique peut être obtenue à bas prix. Citons, parmi les sociétés exploitantes, la *Société norvégienne de l'azote*, fondée avec la participation de capitaux français (Usines de Vemark, de Svaelgfos...) et une filiale de la *Badische-Anilin und soda Fabrik* (à Christiansand), etc. Il est très impressionnant de constater que le génie de l'homme est parvenu à fabriquer des poids immenses de matières indispensables avec de l'air, du vent, quelque chose qui ne coûte rien et qui ne paraît rien peser à beaucoup de gens, de mettre sur pied une industrie vivant de l'air du temps; aussi ne pouvons-nous nous empêcher de citer ici quelques réflexions d'un de nos plus éminents ingénieurs des mines<sup>1</sup>:

1. *La conquête minérale*, par L. DE LAUNAY, page 157; Flammarion, éditeur, Paris.

« L'exploitation minérale vraiment « moderne », c'est cette « curieuse industrie née d'hier, qui extrait l'azote de l'air pour « en faire des nitrates, en des usines silencieuses, comme « endormies et abandonnées, où il n'apparaît ni ouvriers, ni « matières premières, ni presque machines en mouvement, où « il n'entre rien que de l'invisible, de l'air et de l'électricité, et « d'où il sort chaque année, par magie, des milliers de tonnes « d'engrais tout à fait tangibles. »

3<sup>o</sup> Signalons enfin les efforts tentés par la Compagnie bordelaise de produits chimiques pour combiner les éléments de l'air en faisant passer celui-ci sur certains *catalyseurs* (oxydes de cobalt, de manganèse, etc.) portés à une température supérieure à 500° et procédant ensuite par refroidissement brusque, comme dans les procédés électriques.

## 2<sup>o</sup> Fabrication synthétique de l'ammoniaque.

Rappelons d'abord brièvement quelles sont les sources industrielles les plus importantes qui étaient utilisées jusqu'à ces temps derniers ; ces sources constituaient, en quelque sorte, des déchets ou résidus de diverses fabrications :

1<sup>o</sup> Les *eaux vannes*, ou de vidange, renfermant du carbonate d'ammoniaque provenant de la fermentation de l'*urée* contenue dans les urines ;

2<sup>o</sup> Les *eaux d'épuration* du gaz de houille, de celui des hauts-fourneaux, des fours à coke métallurgique, des gazogènes... qui contiennent aussi de notables quantités de produits ammoniacaux et cyanogénés.

Pour extraire l'ammoniaque des eaux vannes, on soumet celles-ci, en vue de leur concentration, à une distillation fractionnée dans des appareils analogues à ceux en usage dans la distillation des alcools, et on traite les produits volatilisés et condensés par un lait de chaux qui fait dégager le gaz ammoniac  $AzH^3$ . Le traitement des eaux d'épuration diverses suit une marche analogue.

Mais ces sources sont loin de suffire à la consommation croissante ; il y a donc place pour tous autres procédés capables



d'engendrer de toutes pièces des produits ammoniacaux. La fixation de l'hydrogène sur l'azote peut être réalisée par divers moyens que nous classerons ainsi :

1<sup>o</sup> Procédés par synthèse directe... procédé Haber ;

2<sup>o</sup> Procédés par les azotures métalliques... procédé Serpek et autres ..

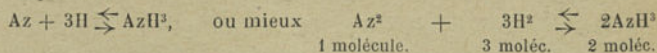
1<sup>o</sup> *Procédé par synthèse directe de Haber.* — *Principe.* — Le but à atteindre est de souder 3 atomes d'hydrogène à un atome d'azote, de façon à édifier la molécule  $AzH^3$  [ou  $NH^3$ ] du gaz ammoniac. Or, cela n'est pas facile, car ces deux corps n'ont qu'une affinité très faible ou nulle aux divers échelons de température, l'azote se distinguant comme nous le savons déjà par une paresse réactionnelle souvent attribuée (c'est une forme de langage) à une sorte de frottement chimique, ou de résistance passive, qui l'empêcherait d'obéir à ses tendances naturelles, de même que le frottement, en mécanique ordinaire, s'oppose à la manifestation intégrale et immédiate des effets des forces et aboutit à des *faux équilibres* (exemple : un corps matériel placé sur un plan pas trop incliné et qui reste en repos, etc.).

D'autre part, si, avec plus ou moins de mal, on a réussi à obtenir de l'ammoniaque, on constate qu'à température élevée, ce corps se détruit en régénérant l'azote et l'hydrogène et, à 1000°, la décomposition est presque totale. C'est ainsi que, si l'on fait passer dans une éprouvette contenant du gaz ammoniac une série *prolongée* d'étincelles électriques, la décomposition du gaz est complète avec doublement du volume. Et cependant, sous l'action des mêmes étincelles, les deux constituants peuvent arriver à se recombiner en usant de l'artifice de Cavendish consistant à opérer en présence d'un acide qui capte l'ammoniaque au fur et à mesure de son apparition et lui permet d'échapper à une décomposition ultérieure. Nous concluons de tous ces faits qu'il s'agit là de phénomènes *réversibles* donnant lieu à l'équilibration de deux tendances opposées et qui se limitent réciproquement. C'est là une circonstance fâcheuse au point de vue du rendement industriel et, du moment que l'on est astreint à persister dans cette voie, il est



indispensable d'étudier préalablement quelles sont les conditions les moins défavorables dans lesquelles il faut se placer.

Il faut élever la température, puisque la réaction ne marche pas à froid, mais pas trop, car le corps à fabriquer se décompose à chaud. Vers 300° à 400° et sous la pression atmosphérique ordinaire, l'azote et l'hydrogène, toujours dans la zone de frottement chimique, ne manifestent encore aucune tendance à se combiner; il est donc tout indiqué de rechercher quelque *catalyseur* approprié qui faciliterait cette réaction paresseuse qui est cependant *exothermique*, la formation d'une molécule-gramme d'ammoniaque, soit 17 grammes, étant accompagnée d'un dégagement de chaleur d'une douzaine de grandes calories. La substance qui s'est montrée la plus active à cet égard est l'*Osmium* très finement divisé, mais ce métal est beaucoup trop cher, car il n'en existe guère qu'une centaine de kilogs dans le monde entier. Aussi le remplace-t-on par le fer pur, divisé, obtenu par réduction d'un de ses oxydes à basse température; mais alors, pour obtenir de bons résultats, il faut élever la température jusque vers 600°. Remarquons en passant qu'un catalyseur est comparable à un outil à deux tranchants, ou plutôt à l'huile dans un engrenage qui favorise aussi bien un mouvement que son inverse; son effet est simplement d'atténuer les résistances passives chimiques, d'accélérer par conséquent la vitesse de décomposition aussi bien que celle de combinaison et, par suite, de permettre aux affinités chimiques de s'exercer librement, de lever toute entrave à l'établissement des équilibres réversibles. Par suite, un *catalyseur n'a aucune influence sur le rendement d'une réaction*. Or, précisément ici, ce rendement est très faible, d'où la nécessité de l'améliorer en faisant intervenir encore un autre facteur favorable qui est la *pression*. En effet, la réaction à produire étant exprimée par l'équation



et une molécule gazeuse occupant ce que l'on appelle en chimie 2 volumes, soit 22 litres, 3, nous voyons que, lors de la combinaison des deux gaz, le volume qui était 8 primitivement,

tombe à 4 finalement ; or, c'est une loi certaine de la chimie [loi du déplacement de l'équilibre réversible par variation de pression, ou loi de Le Chatelier<sup>1</sup>] que, si un système en équilibre réversible est troublé par une augmentation de la pression, ce système tend vers un autre état d'équilibre par un *phénomène accompagné d'une diminution de volume*, comme si la Nature dérangée dans son harmonie, tendait à y revenir en

modérant la perturbation, en s'y adaptant, tout en cédant le moins possible, par un double processus d'évolution et de conservation. Il résulte de ces considérations que la formation de l'ammoniaque sera facilitée par l'effet d'une forte contrainte. En fait, on opère sous la pression considérable de 275 atmosphères, ce qui, étant donné en outre la haute température de 600° adoptée, entraîne de grandes difficultés expérimentales.

**Dispositif expérimental.** — Quoi qu'il en soit, les rendements restent relativement faibles et, pour la réussite du procédé au point de vue économique

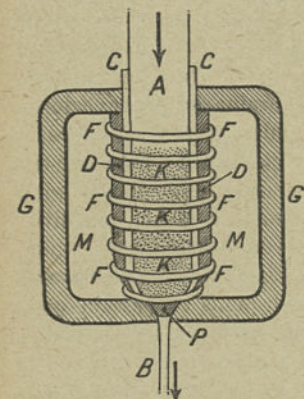


Fig. 238. — Synthèse directe du gaz ammoniac, à chaud et sous pression, avec l'intervention d'un catalyseur.

et financier, il est indispensable de ne pas se laisser perdre l'azote et l'hydrogène qui n'ont pu se combiner ; il faut donc disposer les appareils de manière à faire revenir ces gaz sur le catalyseur après leur avoir fait traverser un réfrigérant où l'ammoniaque formée aura été condensée. L'appareil se compose d'un tube en verre ou en quartz A (fig. 238) d'une certaine largeur contenant le catalyseur ou *matière de contact* K... K, et soudé à un tube d'acier capillaire B par où se fait l'aspiration des gaz chargés d'ammoniaque ; un tampon de retenue en amiante P est placé à

1. Savant français contemporain.



la naissance de l'étranglement. Le tube A étant exposé à se ramollir sous l'action de la chaleur est maintenu par un tube CC en fer servant d'armature et celui-ci est entouré d'une gaine isolante d'amiante DD sur laquelle est enroulée une hélice F... F de fils de nickel où circule un courant électrique de chauffe. Le mélange gazeux venant d'un compresseur à 275 atm. arrive par la partie large, est porté vers 600° en passant à travers le catalyseur et une certaine quantité d'ammoniaque se produit aussitôt évacuée par le tube capillaire vers l'appareil de condensation ; l'azote et l'hydrogène non combinés retournent sur le catalyseur, et ainsi de suite.

Pour empêcher le fer porté à 600°, de se déformer sous l'action de la forte pression intérieure, on l'entoure d'une sorte de bombe d'acier GMMG à l'intérieur de laquelle on insuffle de l'air à 275 atmosphères. Cette pression extérieure équilibre ainsi la pression intérieure et évite la déformation des parties ramollies.

**Obtention de l'azote et de l'hydrogène.** — Il nous reste maintenant à indiquer comment on se procure les grandes quantités d'azote et d'hydrogène nécessaires à cette fabrication. L'azote est généralement fourni par la distillation fractionnée de l'air liquide qui laisse d'abord s'évaporer l'azote plus volatil que l'oxygène. Ceci est tout à fait analogue à ce qui se passe dans la distillation industrielle des liquides alcooliques (voir ce chapitre), l'azote jouant ici le rôle de l'alcool, et l'oxygène celui de l'eau. Aussi, selon le procédé de M. G. Claude<sup>1</sup>, emploie-t-on à cet effet des dispositifs séparateurs basés sur le même principe que les appareils de distillerie. Il est vrai que l'azote ainsi obtenu contient de l'argon, mais ce corps ne gêne pas. Le prix de revient est d'environ deux centimes le mètre cube. Il existe encore d'autres moyens de se procurer de l'azote (gaz des gazogènes, etc.).

L'hydrogène s'obtient en grand en partant de matières premières comme l'eau H<sup>2</sup>O, la soude NaOH, la chaux Ca(OH)<sup>2</sup>... qui en contiennent. Le départ de l'hydrogène de ces substances

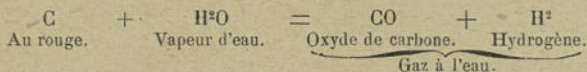
1. Savant français.



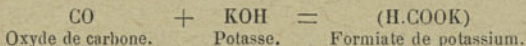
peut s'obtenir par l'intervention d'un *réducteur* qui s'empare de l'oxygène, ou encore par celle de l'*énergie électrique*.

1° **Extraction de l'hydrogène de l'eau.** — Le réducteur employé peut être le carbone, le fer, etc., à température élevée.

a) *Traitement de l'eau par le charbon ; gaz à l'eau.* — On fait passer un courant de vapeur d'eau sur du charbon (coke) chauffé au rouge ; il se forme un mélange gazeux d'oxyde de carbone et d'hydrogène, conformément à la réaction principale :



Ce mélange, appelé *gaz à l'eau*, contient une petite quantité de gaz carbonique  $\text{CO}^2$  ; il est combustible et peut être employé sous le nom de *gaz pauvre* pour actionner des moteurs ; en le faisant circuler dans des tubes refroidis à une température voisine de celle de l'air liquide, tous les gaz, oxyde de carbone ainsi que les produits sulfurés ou arséniés qui altéreraient les catalyseurs<sup>1</sup>, s'y liquéfient, sauf l'hydrogène qui ne contient plus alors que quelques traces d'oxyde de carbone que l'on absorbe par une lessive de potasse sous pression, ce qui aboutit à la production d'un *formiate* :



Le prix de revient de cet hydrogène est environ 20 centimes le mètre cube.

Ce procédé est économique en principe, parce qu'il n'exige l'emploi que de matières premières naturelles, comme le charbon et l'eau. Il faut cependant tenir compte de la question de rendement et de la nécessité coûteuse du refroidissement.

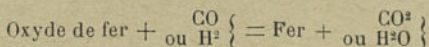
b) *Traitement de l'eau par le fer.* — La vapeur d'eau, passant sur du fer chauffé au rouge, est décomposée avec mise en liberté d'hydrogène et formation d'oxyde de fer :

1. Ces produits, véritables poisons pour le catalyseur, proviennent de ce que le charbon employé ne peut être du carbone pur ; il contient du soufre, de l'arsenic, etc.

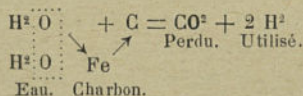
Fer + oxyde d'hydrogène (eau) → oxyde de fer + hydrogène. Nous ne spécifions pas le genre d'oxyde formé, protoxyde, sesquioxyle, oxyde magnétique, qui dépend de la température plus ou moins élevée à laquelle on opère.

Ce procédé, réduit à cette simple réaction, ne serait pas économique, car il exigerait l'achat constamment renouvelé du fer qui n'est pas une matière première naturelle et dont le prix est, par conséquent, déjà grevé des frais de fabrication. Il faut donc, pour le rendre pratique, *régénérer le fer économiquement de son oxyde*, sans passer bien entendu par le haut fourneau; on y arrive aisément au moyen du gaz à l'eau dont il a été question précédemment. Les deux procédés peuvent donc se compléter l'un par l'autre, se fondre en un seul: tel est le principe du procédé Messerschmitt appliqué en grand en Allemagne et en Amérique.

Dans une première réaction, la vapeur d'eau *surchauffée* passe sur du *fer divisé* chauffé au rouge (700° à 800°); il se dégage de l'hydrogène et il se forme de l'oxyde de fer. On emploie évidemment le fer divisé, c'est-à-dire en limaille fine, pour accroître sa puissance d'action sous un poids déterminé. Dans une deuxième réaction, cet oxyde de fer est *réduit*, c'est-à-dire dépouillé de son oxygène, par l'oxyde de carbone et l'hydrogène du gaz à l'eau produit préalablement par le passage de vapeur d'eau sur du coke incandescent:



Le fer est régénéré et peut resservir. Tout se passe comme s'il prenait l'oxygène de l'eau pour le porter sur le carbone selon le schéma simplifié:



Il faut avoir soin de ne pas atteindre la température où les grains de fer commenceraient à se souder les uns aux autres, sans quoi la réaction perdrait la plus grande partie de son

intensité. L'hydrogène barbote dans de l'eau froide pour arrêter les poussières, puis passe sur de l'oxyde de fer et de la chaux pour arrêter les impuretés sulfurées et le gaz carbonique. Le gaz ainsi produit est très pur et le prix du mètre cube est très faible.

c) Citons encore le traitement de l'eau froide par le métal calcium, ou mieux encore par l'*hydrure*  $\text{CaH}^2$  de ce métal, vendu sous le nom d'*hydrolithe* :  $\text{CaH}^2 + \text{H}^2\text{O} = \text{CaO} + 2\text{H}^2$ .

2° *Extraction de l'hydrogène des bases, soude ou chaux.* — a) Des métaux oxydables tels que le fer, le zinc, chauffés au rouge avec de la soude caustique ou de la chaux éteinte, donnent lieu à un dégagement d'hydrogène.

b) *Action des bases alcalines sur le ferro-silicium.* — On sait que le silicium, métalloïde de la famille du carbone, attaque les alcalis avec dégagement d'hydrogène ; or, l'industrie fabrique en grand un alliage, le ferro-silicium, qui a cette même propriété.

Dans le procédé Schuckert, la soude est employée en solution *étendue*, en même temps qu'elle est soumise à un chauffage extérieur par la vapeur. Dans le procédé Lelarge (du laboratoire aéronautique de Meudon), la soude est employée en solution *concentrée* ; elle attaque alors le ferro-silicium sans l'intervention d'aucun chauffage étranger : c'est le procédé dit « au silicol ».

Le procédé Jaubert consiste à mélanger à sec le ferro silicium et la soude (ou la chaux sodée) en poudre. Ce mélange, qui se conserve stable à froid et au sec, constitue l'*hydrogénite* de l'auteur. En chauffant cette matière en un point avec une allumette-tison, ou mieux avec une poudre spéciale d'allumage-amorçage, on obtient immédiatement un dégagement d'hydrogène que l'on purifie par barbotage dans l'eau et séchage par passage à travers de la sciure de bois. La réaction a l'aspect d'une combustion sans flamme, comme lorsqu'on brûle de l'amadou.

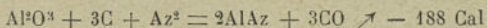
c) *Hydrogène électrolytique.* — On fait passer un courant électrique dans l'eau alcalinisée dans laquelle plongent une anode (entrée du courant) en charbon et une cathode (sortie



du courant) en fer. En réalité, c'est l'alcali qui est décomposé, mais il est régénéré aussitôt par suite de réactions dites *secondaires*, et tout se passe comme si c'était l'eau elle-même qui soit décomposée, d'où le nom d'*électrolyse de l'eau* qu'on donne à cette réaction. On obtient aussi en même temps de l'oxygène. Les deux gaz sont comprimés dans des récipients résistants en acier et livrés ainsi au commerce.

L'emploi de l'eau acidulée sulfurique, au lieu d'une solution de soude, n'est pas industriel.

2<sup>o</sup> *Procédé Serpek*. — Ce procédé consiste à former d'abord l'azoture ou nitrure d'aluminium, combinaison d'azote et d'aluminium répondant à la formule  $Al \equiv Az$  et qu'on peut obtenir en faisant arriver un courant d'azote non sur le métal lui-même, mais plus économiquement sur un mélange de charbon et d'alumine (oxyde d'aluminium) ; le carbone tire à lui l'oxygène de l'oxyde en formant du gaz oxyde de carbone, et l'azote se fixe sur l'aluminium. La réaction s'exprime ainsi :



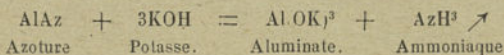
Elle est très vive, quoique endothermique, au-dessus de 1500° et peut être montrée en petit en faisant arriver un courant d'azote au centre d'un creuset rempli d'un mélange d'alumine et de charbon et très fortement chauffé (1500° à 1800°).

Cette réaction est plutôt imprévue puisque, d'une part, l'alumine est un des oxydes les plus stables que l'on connaisse, ce qui s'explique par la très forte valeur de sa chaleur de formation (exothermique) ; d'autre part, l'azote étant considéré comme ne possédant que des affinités insignifiantes ou nulles. Mais on peut remarquer <sup>1</sup> qu'en négligeant le volume des corps qui sont ou restent à l'état solide dans la réaction : l'alumine, le carbone et l'azoture, il intervient dans le premier membre une molécule, soit 2 volumes d'azote, tandis que, dans le second membre, nous voyons apparaître 3 molécules de CO,

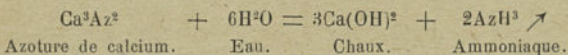
1. Remarque de M. Matignon, savant français contemporain ; voir la synthèse de l'ammoniaque, dans *Technique moderne*, du 1<sup>er</sup> Novembre 1913. Loi de Volatilité, de Matignon.

soit 6 volumes ; le système évolue donc dans le sens d'une plus grande volatilité et « alors le passage de l'état initial à l'état final peut être possible, tout en supportant une forte endothermicité ». Ajoutons que la présence de certains corps, le fer en particulier, accélère la réaction et agit comme catalyseur ; or, la *bauxite*, qui est le minéral de l'alumine, contient toujours un peu de fer, et c'est là une circonstance favorable pour le but envisagé. On peut opérer au four électrique.

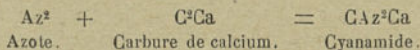
Une fois l'azoture obtenu, on passe à l'ammoniaque par un traitement à la soude ou à la potasse caustique :



*Autres procédés.* — Il se forme aussi de l'ammoniaque par l'action de l'eau ou des alcalis sur d'autres azotures, tels que celui de calcium ou de magnésium, obtenus au four électrique. Le nitrure de calcium, donne, par exemple, la réaction :



Citons encore un produit répandu dans le commerce, la *cyanamide*, ou *chaux azotée*, utilisée comme engrais artificiel, et qu'on obtient par l'action de l'azote pur et sec<sup>1</sup> sur le carbure de calcium<sup>2</sup> pulvérisé et maintenu au rouge sombre ; la réaction est :



Cette cyanamide, sous l'action de l'humidité, dégage peu à peu de l'ammoniaque. La Société allemande Linde en fabrique annuellement plusieurs centaines de milliers de tonnes ; nos industriels sont bien placés pour devenir des gros producteurs de cet agent fertilisant.

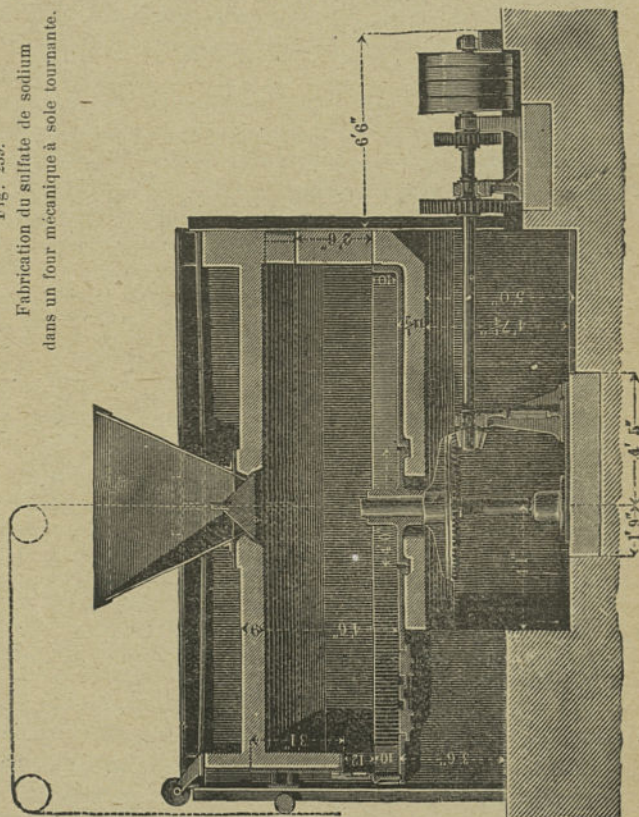
1. L'azote employé ne doit pas contenir plus de 0,2 pour 100 d'oxygène.
2. Obtenu au four électrique, par l'action du charbon sur la chaux.

## Acide chlorhydrique.

Cet acide se prépare en faisant agir l'acide sulfurique sur le

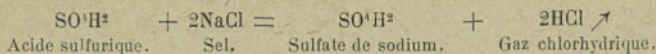
Fig. 239.

Fabrication du sulfate de sodium  
dans un four mécanique à sole tournante.



chlorure de sodium à une température suffisamment élevée ; la réaction suivante se produit :

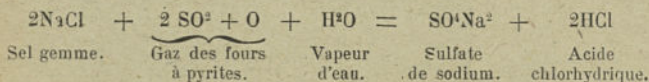




L'acide chlorhydrique se dégage à l'état de gaz, d'où son nom courant d'*esprit de sel*. A vrai dire, l'objet principal de l'opération est, non pas l'obtention de l'acide lui-même, dont la vente n'est pas énorme, mais plutôt celle du sulfate de sodium, en vue de la transformation ultérieure de ce corps en *soude* (voir plus loin).

Les anciens *fours à moufle*, dont la main-d'œuvre était des plus pénibles, tendent à être remplacés de plus en plus par les *fours mécaniques à sole tournante*, à production *continue*, tel que le four Mac Tear (fig. 239).

Enfin, le procédé *Hargreaves* dispense de la fabrication préalable de l'acide sulfurique ; il consiste à faire passer sur des morceaux de sel gemme, portés à la température de 400° à 500°, le mélange gazeux qui sort des fours à pyrites, de façon à effectuer la réaction :



**Purification.** — L'acide commercial est jaune, à cause de diverses impuretés parmi lesquelles nous signalerons l'acide sulfurique entraîné, le gaz sulfureux et le chlorure ferreux provenant de l'attaque de la cuvette par l'acide sulfurique, le chlorure d'arsenic si l'acide sulfurique est arsenical. On purifie en faisant passer, dans l'acide impur, un courant de chlore, et ajoutant un peu de sulfure de baryum. Après repos et dépôt des impuretés précipitées, on décante et redistille.

**Usages.** — *Chlore et agents décolorants.* — L'acide chlorhydrique sert à la fabrication du chlore et des chlorures décolorants ; chlorure de chaux et eau de Javel. Mélangé, à l'acide azotique, il constitue l'*eauregale*, ainsi appelée parce qu'elle peut dissoudre l'or, sur lequel les deux acides sont séparément sans action.

L'obtention du chlore au moyen de l'acide chlorhydrique a lieu en faisant agir sur ce dernier corps un agent capable d'éliminer l'hydrogène, comme, par exemple, l'oxygène de l'air en présence d'un catalyseur (procédé DEACON). Ce chlore passant ensuite dans des chambres garnies de tablettes, sur lesquelles on a étalé de la chaux éteinte, est absorbé et donne lieu à la formation du *chlorure de chaux* employé dans la grosse industrie du blanchiment comme agent de décoloration plus économique que l'eau de Javel. Celle-ci s'obtient, à son tour, en faisant agir une solution de chlorure de chaux sur une dissolution de carbonate de soude.

## II. — SOUDES ET POTASSES. — CHLORURE DE SODIUM

### Soude commerciale.

**Généralités.** — Chimiquement parlant, la soude et la potasse, ainsi que la chaux, sont des *bases* puissantes, répondant respectivement aux formules  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})^2$ ; ces corps ont pour caractère commun de *neutraliser* les acides, c'est-à-dire de faire disparaître leur saveur piquante, leur propriété de dissoudre certains métaux et de virer la teinte des colorants organiques.

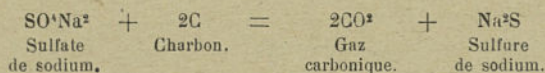
Commercialement parlant, on désigne sous le nom de soude et de potasse des corps qui, en réalité, sont le carbonate de sodium  $\text{CO}_3\text{Na}^2$  et le carbonate de potassium  $\text{CO}_3\text{K}^2$ . Pour éviter toute confusion, les *bases*  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  sont qualifiées des noms de *soude caustique*, *potasse caustique*, tandis que les mots soude, potasse, non suivis de l'épithète de caustique, signifient les carbonates, comme cela vient d'être dit.

La soude et la potasse caustiques, ainsi que l'ammoniaque, sont des *alcalis* ou bases puissantes; la chaux est une *terre alcaline*: cette dernière est la base industrielle à bon marché, par excellence; elle s'obtient, comme on l'a vu autrefois, par la calcination du calcaire.

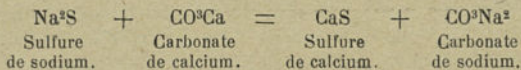
Quant à la soude et à la potasse, le point de départ de leur fabrication est le chlorure de sodium ou sel ordinaire, d'une part, et le chlorure de potassium, d'autre part, ainsi que diverses autres sources que nous indiquerons.

**Fabrication de la soude commerciale.** — Le point de départ, *chlorure de sodium* ou sel ordinaire, a déjà été étudié antérieurement, au point de vue de l'extraction, sous forme de *sel gemme* et de *sel marin* (voir chapitre premier). Plusieurs procédés peuvent être et sont effectivement employés pour le transformer en soude.

**1<sup>o</sup> Procédé Leblanc.** — Ce sel, ayant subi l'action de l'acide sulfurique, nous a fourni l'acide chlorhydrique et le sulfate de sodium (voir *Acide chlorhydrique*). Dans le procédé Leblanc, vieux de plus d'un siècle, mais encore debout, on chauffe le sulfate de sodium avec une proportion calculée de calcaire et de charbon. Celui-ci, à haute température, réagit sur le sulfate de sodium, s'empare de son oxygène, et le ramène à l'état de sulfure ;



Le sulfure de sodium, ainsi formé, réagit à son tour sur le calcaire et, par double décomposition, produit du sulfure de calcium, qui constitue un déchet, et du carbonate de sodium :



L'opération s'effectue soit dans les fours à *cylindre horizontal tournant*, soit dans des fours à *réverbère* (fig. 240) ces derniers sont composés d'un foyer latéral F dont les flammes viennent frôler deux soles A et B placées l'une à la suite de l'autre ; la seconde B reçoit d'abord le mélange de Leblanc, sulfate, calcaire, charbon, qui se trouve ainsi amené à l'état voulu de dessiccation ; lorsque ce résultat est atteint, on fait



passer la matière sur la sole A, plus voisine du foyer, donc plus chaude, où s'accomplissent les réactions ci-dessus indiquées ; on facilite celles-ci par un brassage continu, au moyen d'un ringard ; cette opération pénible explique la substitution des fours tournants aux fours précédents.

Ce que l'on obtient finalement c'est, non pas la soude elle-même mais, selon l'équation chimique écrite en dernier lieu, un mélange de soude et de sulfure de calcium, appelé *soude brute* ; on en sépare

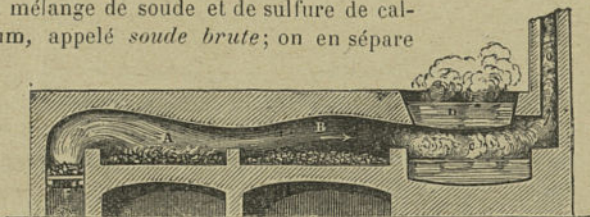


Fig. 240. — Four à réverbère servant à la transformation du sulfate de sodium en carbonate, par le procédé Leblanc.

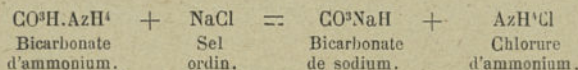
la soude proprement dite par l'action de l'eau ; celle-ci dissout la substance sodique et laisse le sulfure de calcium qui est insoluble lorsqu'il est *cuit*, c'est-à-dire obtenu à chaud. Ce résidu insoluble constitue les *charrées de soude* ; on ne le perd pas, parce qu'il contient une matière de valeur, le soufre, qui provient de l'acide sulfurique employé à l'origine ; on *récupère* donc cet élément par divers procédés qui, généralement, aboutissent à la réapparition de soude sous forme de gaz sulfureux  $\text{SO}_2$ , lequel peut servir à réobtenir de l'acide sulfurique ou du sulfate de sodium.

Quant à la solution de soude — ou *lessive* — elle est placée dans les bassines, telles que C et D (fig. 240), chauffées par les gaz du foyer. On pousse la concentration jusqu'à *sec*, c'est-à-dire jusqu'au départ complet de l'eau, ce qui donne le *sel de soude* utilisable directement dans diverses industries telles que la verrerie ou la savonnerie.

Si, maintenant, on redissout le sel de soude dans de l'eau chaude, en mettant la plus forte proportion possible de sel (solution *saturée*) et qu'on abandonne au refroidissement, on

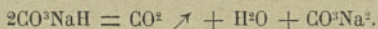
obtient ces gros cristaux, qui répondent à la formule  $\text{CO}^2\text{Na}^2.10\text{H}^2\text{O}$ , et qu'on désigne vulgairement sous le nom de *cristaux* ou de *carbonate*.

2<sup>o</sup> **Procédé Solvay.** — Ce procédé consiste à faire réagir le sel ordinaire, dissous dans l'eau, sur le bicarbonate d'ammonium, selon la réaction :



Comme on le voit, on n'obtient pas directement le carbonate neutre, ou ordinaire, mais le bicarbonate ou carbonate acide, connu encore sous le nom de *sel de Vichy*, parce qu'il est contenu en proportion sensible dans les eaux minérales naturelles de cette localité.

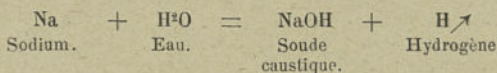
Pour passer du bicarbonate au carbonate neutre, il suffit de chauffer ; il y a perte d'eau et de gaz carbonique et formation d'un résidu de carbonate neutre :



L'ammoniaque n'est pas perdue, elle ressort indéfiniment, théoriquement du moins. A cet effet, le chlorure d'ammonium est chauffé avec de la chaux vive, ce qui donne lieu à la formation de chlorure de calcium, que l'on perd, et d'ammoniaque que l'on recueille ; celle-ci étant traitée par le gaz carbonique, reformera le bicarbonate d'ammonium nécessaire. Tout se borne, comme l'on voit, à avoir à sa disposition, en plus du sel et de l'ammoniaque, de la chaux et du gaz carbonique, ce qui s'obtiendra facilement, bien entendu, en chauffant du calcaire dans un four à chaux disposé pour recueillir le gaz carbonique.

Le procédé, très simple en théorie, nécessite, pour sa réussite complète et économique, une organisation spéciale des appareils. En tout cas, la soude obtenue est bien plus pure que celle du procédé Leblanc et est très appréciée dans certaines opérations, telles que celles de la teinture, etc., mais elle ne permet pas, comme son concurrent plus ancien, d'obtenir en même temps le *chlore* nécessaire à la fabrication des agents décolorants : chlorure de chaux et eau de javel.

3° Soude électrolytique. — Ce troisième procédé consiste à faire passer un courant électrique à travers une solution de sel ordinaire. Dans ces conditions, le chlorure de sodium est décomposé ; il se dégage du *chlore* à l'entrée du courant (ou *anode*) et il apparaît du *sodium* à la sortie (ou *cathode*) ; mais, par suite de la vive action secondaire de ce métal sur l'eau de la solution, il y a production de *soude caustique* selon la réaction :



En résumé, l'action du courant sur l'eau salée donne lieu à la formation de chlore et de soude, et, si l'on a soin d'éviter l'action de ces deux substances au sein du bain, par des dispositifs appropriés, diaphragmes, mercure-cathode, cloche, etc., on obtiendra une solution sodique qu'il suffira de concentrer pour avoir la soude caustique. Quant au chlore, il servira à l'obtention des *chlorures décolorants* <sup>1</sup>.

**Carbonate de potassium.** — On le retirait autrefois des *cendres végétales* ; aujourd'hui la majeure partie de la potasse commerciale se fabrique par application du procédé Leblanc au chlorure de potassium qu'on trouve en si grande abondance dans les gisements de Stassfurt (voir *Mines et carrières*).

On en retire aussi une notable quantité du *suint* des moutons (matière qui adhère à la laine sur *pied*) et du *salin* de betterave, matière solide obtenue en évaporant à sec le liquide appelé *vinasse*, qui forme le résidu de la distillation du jus de betterave fermenté.

**Alcalis caustiques.** — Les alcalis caustiques sont obtenus soit par voie *électrolytique*, comme nous l'avons vu, c'est-à-dire par l'action du courant électrique sur les solutions de chlorure de sodium ou de potassium, soit par la *caustification* des carbonates correspondants au moyen d'un *lait de chaux*

1. Pour compléments sur toutes ces questions, voir *Cours de chimie*, par P. MÉTRAL, Masson et Cie, éditeurs, Paris.



bouillant. Ainsi le chauffage d'une solution assez étendue de carbonate de soude, accompagné d'une addition de chaux en suspension dans l'eau, donne lieu à la formation d'un précipité insoluble de calcaire, qu'on élimine, et d'une solution de soude caustique NaOH, que l'on concentre jusqu'à consistance sirupeuse qu'on coule ensuite sur un corps froid où elle se prend en plaque blanche solide.

**Usages.** — La soude et la potasse interviennent dans la fabrication des savons et du verre, dans le blanchiment des textiles, le blanchissage du linge et une foule d'autres usages.

### III. — AMIDONNERIES ET FÉCULERIES

**Généralités.** — Tout le monde connaît ces poudres blanches et légères appelées *amidon*, *fécule*, etc. Ces matières sont constituées par des petits grains microscopiques que l'analyse chimique montre composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène dans la proportion indiquée par la formule  $C^6H^{10}O^5$ , ou un multiple de celle-ci. On appelle plus spécialement *ami-  
uon*, le produit retiré de la farine des céréales, blé, orge, riz, et *fécule* celui qui s'extrait de la pomme de terre.



Fig. 241. — Grains de fécule enfermés dans les cellules de la pomme de terre.

Si l'on vient, au moyen d'un rasoir, à découper dans une pomme de terre, une tranche extrêmement mince et si on l'examine au microscope, on la trouve composée par la juxtaposition d'un certain nombre de cavités dites *cellules* (fig. 241) chacune de celles-ci renferme un nombre plus ou moins grand de petits corps ovoïdes formés de couches disposées concentriquement, comme si elles étaient emboîtées les unes dans les

autres autour d'un point appelé *hile* : ce sont précisément les grains de *fécule* ; l'enveloppe des cellules est formée par une substance appelée *tissu cellulaire* ou *parenchyme*. En gros, on trouve que les tubercules contiennent environ 74 pour 100 d'eau, 20 pour 100 de fécule et 6 pour 100 de parenchyme et autres matières diverses. En divers points de la pomme de terre, on trouve quelques agglomérations cellulaires, appelées *germes*, destinées à la reproduction de la plante.

Un grain de blé, de seigle, d'orge, d'avoine, de maïs, de riz, etc., présente une disposition analogue. Le grain de blé est ce qu'on appelle en botanique un *caryopse* : on y distingue quatre parties principales : 1<sup>o</sup> l'enveloppe mince, ou *péricarpe* A et B (fig. 242), composée principalement d'une matière appelée *cellulose*, sans grande valeur alimentaire au point de vue humain, mais qui est ca-

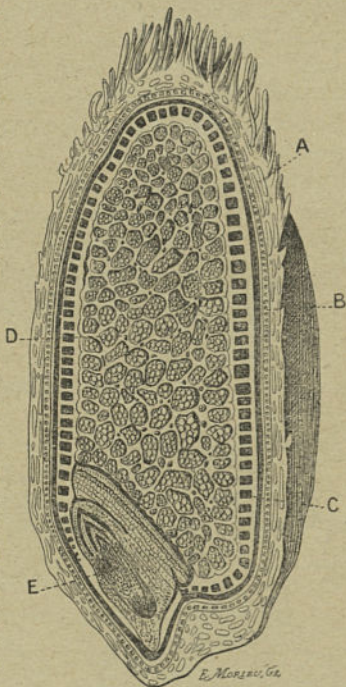


Fig. 242. — Coupe longitudinale d'un grain de blé.

vable de servir de nourriture aux volailles et aux quadrupèdes, dont l'intestin contient des ferments capables de solubiliser la cellulose et, par conséquent, de la digérer ; 2<sup>o</sup> une région C, dite *assise digestive*, constituée par des cellules contenant des matières grasses, albuminoïdes, aromatiques et minérales phosphatées ; 3<sup>o</sup> l'*albumen* D, formé de cellules remplies de grains d'*amidon* et d'une substance



azotée appelée *gluten* qui, sous l'action de l'eau, est capable de s'*agglutiner*, de former un tout gluant comme de la colle; 4<sup>o</sup> l'*embryon E*, ou germe. Par la *mouture*, suivie d'une séparation appelée *blutage*, on arrive à isoler les grains d'amidon et de gluten de l'albumen sous forme d'une poudre blanc-jaunâtre appelée *farine*, qui contient environ 15 pour 100 d'eau, 8 à 9 pour 100 de gluten, 70 pour 100 d'amidon et diverses matières grasses, azotées et minérales.

L'*amidon* des diverses céréales et la *fécule* de pomme de terre, de topinambour, de manioc, etc., ont des propriétés physiques et chimiques extrêmement voisines et sont compris sous la rubrique générale de matières amylacées.

**Extraction industrielle de l'amidon.** — On opère

de deux façons, selon que l'on a affaire à de la farine fraîche ou à de la farine qui, ayant subi un commencement de fermentation ne pourrait servir à la panification.

1<sup>o</sup> **Farines fraîches.** — Il s'agit de séparer l'amidon du gluten. On y arrive par l'action de l'eau froide qui forme avec la dernière substance une pâte agglomérée et laisse l'amidon intact. Faisons par exemple l'expérience suivante : humectons de la farine avec un peu d'eau, de façon à avoir une pâte épaisse; abandonnons celle-ci quelque temps à elle-même, de manière à ce que les grains de gluten aient bien le temps de se souder les uns aux autres; reprenons ensuite cette petite masse pâteuse et malaxons-la sous un mince filet d'eau (fig. 243); celui-ci en-

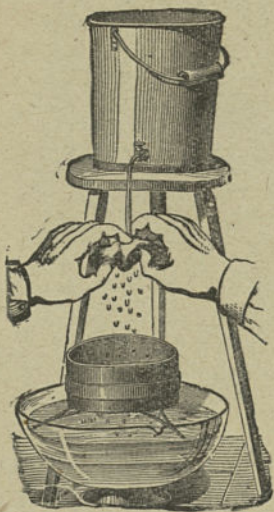


Fig. 243. — Séparation du gluten de l'amidon.

traînera peu à peu l'amidon, en formant un liquide blanc laiteux, et laissera dans nos mains une matière élastique grise,



agglutinée, qui est le *gluten* ; pour arrêter les parcelles de celui-ci qui auraient pu être entraînées, on dispose un tamis, en dessous du filet.

En abandonnant ensuite le liquide laiteux à lui-même, l'amidon se dépose peu à peu et forme une couche blanche au-dessous du liquide clair ; on enlève doucement celui-ci, ce que l'on appelle *décarter*, et l'on fait sécher l'amidon.

Dans l'industrie, le procédé est le même, au fond, mais s'effectue mécaniquement ; dans une sorte d'auge contenant la

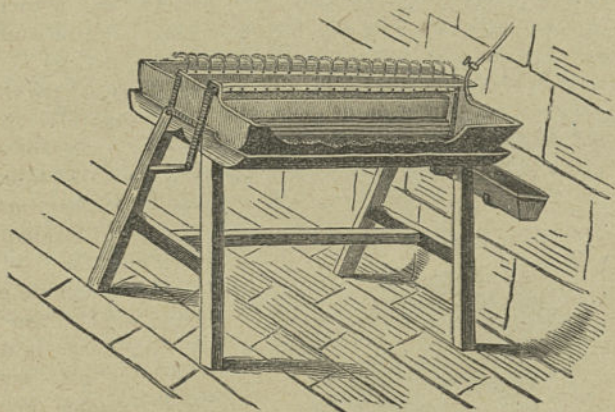


Fig. 244. — Extraction industrielle de l'amidon.

pâte, tourne un cylindre cannelé ; on fait arriver d'une manière continue, un courant d'eau qui entraîne les petits grains d'amidon (fig. 244). On laisse ensuite le liquide se clarifier, par le repos, dans des bassins dits *plans* de dépôt ; on décante et on recueille l'amidon qu'on sèche à l'étuve. Par la dessiccation, la matière éprouve un retrait qui provoque un fendillement de toute la masse et sa séparation en petits prismes irréguliers : c'est la forme commerciale dénommée *amidon en aiguilles*.

2° *Farines avariées*. — Le gluten, substance azotée, s'altère assez facilement, en éprouvant une fermentation due à l'action de certains microbes ; il se dégage alors de l'ammoniaque

$AzH^3$  provenant de l'azote, de l'hydrogène sulfuré  $H^2S$  dû à une petite quantité de soufre présent dans le gluten, et diverses autres substances. Lorsqu'une farine manifeste ces symptômes d'altération, elle devient impropre à la fabrication du pain; on la traite alors en vue de l'extraction de l'amidon. Pour cela, on l'abandonne pendant deux à trois semaines, après l'avoir délayée avec de l'eau sûre, c'est-à-dire rendue acide par suite d'une fermentation réalisée dans une opération antérieure, et contenant alors les microbes et les spores qui détermineront la putréfaction complète du gluten et le rendront soluble; l'amidon reste à peu près intact; pour l'isoler, il suffit ensuite d'un lavage abondant et renouvelé, suivi d'une dessiccation finale.

Des procédés analogues sont mis en œuvre pour préparer l'amidon de riz, d'orge ou de maïs, etc.

**Extraction industrielle de la fécule.** — Le travail industriel de la féculerie se propose comme but de déchirer les

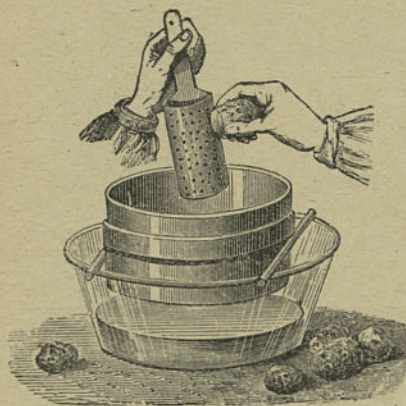


Fig. 245. — Extraction de la fécule de pomme de terre.

cellules du tubercule, pour mettre en liberté les grains de fécule et les séparer de la matière parenchymateuse qui les enveloppe; ce qui s'obtient par un passage à travers des tamis et l'action combinée d'un courant d'eau qui remplit le double rôle de laver la fécule et de l'entraîner. La quantité d'eau nécessaire à un travail parfait est considérable et atteint facilement dix fois le

poids des tubercules; le liquide qui sert au nettoyage extérieur de ceux-ci peut être un peu quelconque, mais celui qui entre en jeu après râpage doit être très pur, dépourvu de composés

ferrugineux, de matières organiques et de parasites susceptibles d'amener une altération du produit; les fécules obtenues dans la région des Vosges doivent leur renommée, pour une bonne part du moins, à la douceur et à la pureté des eaux naturelles qui ont roulé sur les pentes granitiques de ces montagnes.

Pour comprendre le principe des méthodes industrielles, nous pouvons faire l'expérience suivante. Nettoyons une pomme de terre et frottons-la sur une simple râpe de cuisine, sous l'action d'un filet d'eau, en opérant d'une manière tout à fait analogue à ce qui a été fait pour l'amidon (fig. 245, le filet d'eau n'est pas représenté); le tamis retient les débris de parenchyme ou d'enveloppes cellulaires et laisse passer l'eau et la fécule; celle-ci se dépose par le repos.

Les opérations industrielles sont assez nombreuses, plus complexes que pour l'amidon; elles peuvent se résumer brièvement de la manière suivante :

1° **Lavage.** — Celui-ci s'effectue en deux fois et commence par le *débourbage*, lequel consiste à soumettre les tubercules à l'action de l'eau en mouvement, dans une auge demi-cylindrique dont l'axe est formé par un arbre garni de tiges munies chacune d'une boule à l'extrémité libre; ces tiges sont disposées en hélice autour de l'arbre (fig. 246) et barbotent dans l'eau et les pommes de terre; la bourbe de celles-ci se désagrège peu à peu et se détache, d'où un premier nettoyage sommaire.

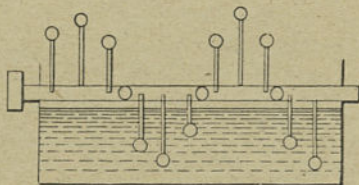


Fig. 246. — Débourbeur pour pommes de terre.

Ensuite, un *élévateur*, sorte de tube incliné dans lequel tourne une surface hélicoïdale, fait monter les tubercules jusqu'à un deuxième appareil de lavage, dit *laveur-épierreur*, de disposition analogue au débourbeur, si ce n'est que les tiges à boule sont remplacées par des lames ou palettes. On applique le principe du *lavage méthodique*, c'est-à-dire celui qui donne le maximum d'effet avec le minimum d'eau; pour cela, les



pommes de terre cheminant, sous l'action des palettes, de gauche à droite, par exemple, tandis que l'eau circule de droite à gauche, donc en sens inverse. Il résulte de cette façon de procéder que la matière presque complètement nettoyée n'est en contact qu'avec de l'eau neuve, très propre qui effectue un rinçage définitif, tandis que le liquide de plus en plus souillé ne se trouve en présence que de tubercules de plus en plus terreux.

Un bon lavage est, en féculerie, d'une importance capitale ; sans lui, quantité d'impuretés passeraient avec la fécule et y resteraient. En sucrerie, cette nécessité existe aussi, bien entendu pour les betteraves, mais elle apparaît moins impérieuse, parce que la matière en vue, le sucre, est soluble, et passe à travers les filtres, ce qui est exactement le contraire pour la fécule qui se trouve arrêtée par les tamis, ainsi que les autres impuretés.

2<sup>o</sup> Râpage. — Le but à atteindre est de *déchirer* les cellules et non de les *broyer*, afin de ne pas blesser les grains de fécule

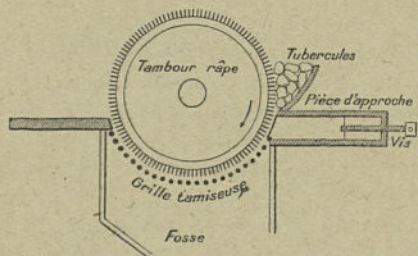


Fig. 247. — Râpage des pommes de terre.

qui y sont contenus, et de ne pas amener les débris de parenchyme à une finesse telle qu'ils passeraient à travers les tamis, en même temps que la fécule qu'il s'agit d'en séparer.

La râpe employée est un grand tambour en bois dont le tour est garni de lames en forme de dents de scie, écartées de 1 à 2 millimètres. Au-dessous de ce tambour est disposée une grille tamiseuse destinée à arrêter ce qu'on appelle les *semelles*, ou gros morceaux qui ont échappé à l'action de la râpe (fig. 247). Les tubercules sont déversés sur le côté, agrippés et usés par les dents ; la matière est entraînée dans l'étroit espace compris entre la râpe et une *pièce d'approche* qu'on peut avancer très

près par le jeu d'une vis. Le tambour tourne sur lui-même avec une grande vitesse, tandis qu'un arrosage abondant divise et entraîne la matière sous forme d'une bouillie qui se réunit dans une fosse cimentée située au-dessous.

3<sup>o</sup> **Tamisage.** — La bouillie ou pulpe précédente, est envoyée dans une série de tamis rotatifs (fig. 248) arrosés d'eau; la force centrifuge entraîne le lait de fécule au dehors, tandis

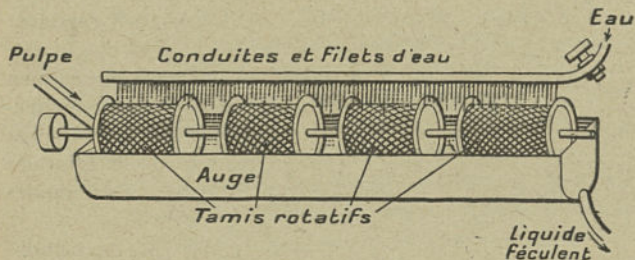


Fig. 248. — Tamis extracteurs pour la séparation de la fécule.

que les débris de parenchyme, ou pulpe proprement dite, sont arrêtés. Le numérotage des tamis, d'après leur degré de finesse, n'a rien de métrique, il s'inspire encore du vieux système des anciennes mesures : le numéro indique le nombre de fils que l'on peut compter dans la largeur d'un *pouce*, soit vingt-sept millimètres et quart (27 mm. 25). On commence le tamisage, avec le n<sup>o</sup> 40 et on pousse le degré d'épuration jusqu'au n<sup>o</sup> 100.

4<sup>o</sup> **Dépôt et dégraissage.** — Le liquide féculent précédent est abandonné au repos dans des bassins appelés *plans de dépôt*, dont le fond présente une légère inclinaison de 1 millimètre par mètre.

Après un repos prolongé, on décante le liquide et l'on racle la couche de fécule; on délaye celle-ci avec de l'eau et l'on abandonne à un nouveau repos; les impuretés moins denses que la fécule, forment au-dessus de celle-ci, une couche grise et gluante appelée *graisse*, que l'on racle soigneusement tout d'abord en respectant la fécule.

5<sup>o</sup> **Blanchiment.** — La fécule dégraissée est délayée de nouveau et filtrée à travers des tamis de soie allant jusqu'au n<sup>o</sup> 180, et on regratte la surface du dépôt jusqu'à blancheur parfaite. Ou bien, on blanchit la matière au moyen d'un chlorage léger obtenu par l'électrolyse d'une solution de chlorure de magnésium (procédé Hermitte), et l'on fait suivre d'un essorage à la turbine<sup>1</sup>, ou *turbinage*, d'où la fécule ne sort qu'avec un tiers de son poids d'eau environ.

6<sup>o</sup> **Étuvage.** — On termine par une dessiccation sur des tablettes chauffées, placées dans une étuve.

La pomme de terre est livrée à la féculerie en sacs de 101 kilos payés pour 100 kilos, sans égard à la richesse en fécule qui seule logiquement, devait entrer en ligne de compte. Pour apprécier cette richesse, il faudrait faire, sur un poids déterminé, un essai de saccharification sulfurique diluée, de façon à transformer la matière amylacée en glucose, puis doser celui-ci au moyen de la liqueur cupro-potassique de *Fehling* (voir plus loin), bien connue dans les laboratoires et dans l'industrie. Les chefs d'établissements n'ont guère adopté ce moyen de contrôle.

**Propriétés de la matière amylacée.** — A l'observation microscopique, les grains de matière amylacée se présentent sous des dimensions assez différentes. Les plus gros sont ceux de fécule qui atteignent 185 microns<sup>2</sup>, les grains d'amidon de blé n'ont que 50  $\mu$ , et ceux du riz et de diverses autres variétés descendent jusqu'à 1 à 2  $\mu$ .

La matière amylacée est insoluble dans l'eau froide à laquelle elle communique un aspect laiteux ; mais si l'on chauffe vers 70 à 80°, le liquide perd son opacité et se transforme en *empois* plus ou moins gélatineux.

1. Une turbine consiste essentiellement en un cylindre dont la surface latérale est constituée par une toile métallique à mailles plus ou moins fines. Ce cylindre peut recevoir un rapide mouvement de rotation autour d'un axe vertical. La force centrifuge chasse au dehors tout ce qui peut traverser les mailles.

2. Le micron, qu'on représente par la lettre grecque  $\mu$  (mu) vaut  $\frac{1}{1000}$  de millimètre.



Cet empois froid, étant additionné d'une petite quantité d'*iode*, donne lieu à la production d'une matière bleue dite *iodure d'amidon*; c'est là une réaction d'une extrême sensibilité, caractéristique de l'iode et de l'amidon; pour la manifester, il faut opérer à froid, car elle disparaît à 70°, pour reparaitre, il est vrai, par refroidissement.

**Saccharification de l'amidon.** — La matière amy-lacée possède l'importante propriété de se transformer, sous diverses influences, en une matière sucrée appelée *glucose*. Ce changement s'opère facilement par l'action des acides étendus bouillants, comme par exemple, si l'on fait bouillir de l'eau aiguisée d'acide sulfurique à 5 pour 100 et additionnée de 25 pour 100 d'amidon. Au début, le liquide fournit la réaction caractéristique de l'iode, c'est-à-dire la coloration *bleue à froid*; mais, peu à peu, cette couleur fait place à une teinte *violette*, indiquant la transformation de l'amidon en *dextrine*; finalement, on n'obtient plus aucune coloration, c'est que la matière amy-lacée est totalement modifiée et se trouve maintenant à l'état de *glucose*. On vérifie cette conclusion en prélevant une petite quantité du liquide, le neutralisant par quelques gouttes de carbonate de soude et le chauffant avec la liqueur *bleue de Fehling*<sup>1</sup>: il se produit une décoloration et un précipité rouge caractéristique indiquant la présence du glucose.

La saccharification de l'amidon peut encore s'effectuer sous l'action d'une substance particulière appelée *diastase*, ou *amylase*, présente dans les graines au moment de la germination, notamment dans l'*orge germée*; la matière amy-lacée est alors transformée, non en glucose, mais en une autre matière sucrée appelée *maltose*. Ces propriétés trouvent leur application dans l'industrie: la saccharification par les acides, dans la fabrication du *glucose*; la saccharification par la diastase, dans la fabrication de la *bière*.

**Usages des matières amy-lacées.** — L'amidon du blé, du riz, de l'orge, du maïs et des autres céréales concourt,

1. C'est un tartrate double de cuivre et de potassium, ou tartrate cupropotassique. Cette liqueur est d'un bleu intense.

sous des formes culinaires diverses, à l'alimentation de l'homme et des animaux. Il en est de même de celui qui est contenu dans la graine des légumineuses : pois, haricots, lentilles, etc.

La fécule de pomme de terre est l'objet d'une importante consommation ; l'industrie de la papeterie l'emploie pour l'encollage des papiers. Le tissage du lin et du coton s'en sert pour l'apprêt des fils. Elle entre dans la fabrication de la colle de pâte. Tous ces usages multiples réclament environ 60.000 tonnes de fécule.

Les tubercules du *manioc* contiennent une matière amylacée servant à la fabrication du tapioca. Les châtaignes (vulgairement *marrons*), les glands du chêne, etc., renferment aussi une proportion considérable de fécule.

De grandes quantités d'amidon sont transformées en glucose, non seulement en *dextrine*, qui remplace partout la *gomme arabique*, pour la confection des liquides visqueux et adhésifs, qu'on étend au dos des étiquettes ou des timbres-poste, etc., ou dans l'encollage du papier et l'apprêt des tissus.

#### IV. — HUILES ET CORPS GRAS SAVONS ET BOUGIES

**Généralités. — Origine naturelle.** — Les corps gras sont des substances onctueuses au toucher, neutres au goût et aux réactifs colorés. Selon leur degré de consistance habituelle dans nos climats, on les partage en deux catégories : les *huiles* et les *graisses*.

On désigne cependant sous le nom d'huiles des liquides qui ne sont pas toujours des corps gras au sens où nous l'entendons ici. Ainsi, il y a des huiles minérales, extraites des schistes et des pétroles, et employées comme lubrifiants ou éclairants ; les huiles *essentielles*, ou essences végétales, qui sont des principes volatils odorants ne laissant sur le papier aucune tache persistante après chauffage ; les huiles proprement dites, ou *huiles*

*grasses*, laissent, au contraire, une tache persistante sur le papier, même à chaud.

Les corps gras peuvent être d'origine *animale* ou *végétale*; le *suif* provient du bœuf ou du mouton, le *saindoux* ou *axonge* est fourni par le porc; on retire de même l'huile de *pied de bœuf*, celle de *pied de mouton*, l'*huile de baleine*, de *cachalot*, de *poisson*, etc.

Les parties végétales qui fournissent des huiles sont généralement la *semence* (huiles de navette, de *colza*, de *lin*, d'*amandes*, etc.), et quelquefois la pulpe du fruit (huile d'*olives*).

**Extraction des corps gras.** — 1<sup>o</sup> **Suif.** — Cette matière est contenue dans le corps des herbivores, associée aux muscles et à divers organes, et contenue dans des enveloppes membraneuses dont il s'agit de la séparer. On y parvient en utilisant la facile fusibilité du suif, liquide dès la température de 40°. Le *suif en branches*, c'est-à-dire tel qu'il vient de l'abattoir, est donc jeté dans de grandes chaudières en cuivre, ou *fondoirs*, chauffées par la vapeur; sous l'action de la chaleur, les enveloppes membraneuses se déchirent, par suite de la dilatation du corps gras, et celui-ci se sépare; on coule le suif dans des formes, et il reste le résidu membraneux, ou *cretons*.

Le suif servait autrefois directement à la fabrication des *chandelles*. Actuellement, ce mode d'éclairage très primitif est, pour ainsi dire, complètement abandonné; mais, du suif, on peut retirer diverses substances; l'acide *stéarique*, l'acide *oléique*, la *glycérine* utilisées respectivement dans la fabrication des *bougies*, des *savons*, ou en pharmacie.

L'*axonge* ou *saindoux*, est la graisse du porc; on l'extrait par un procédé de *fonte* analogue au précédent et on l'utilise dans l'alimentation et la fabrication des savons.

2<sup>o</sup> **Huiles animales.** — Ces huiles s'extraient généralement par chauffage des organes gras au moyen de l'eau bouillante, dans de vastes chaudrons; l'huile vient surnager et on l'enlève après refroidissement.

Les huiles de pied de bœuf, de pied de mouton, sont employées comme lubrifiants pour les mécanismes; les huiles



d'animaux aquatiques, baleine, poissons, phoques, rancissant assez vite, servent surtout dans la fabrication des savons et le travail de la *peau* en vue de la transformation de celle-ci en *cuir*, par le procédé du *chamoisage*.

3<sup>o</sup> **Huiles végétales.** — L'extraction peut s'opérer de deux ou trois manières : soit par *pression*, soit par *épuiement* au moyen d'un dissolvant convenable, soit enfin par les deux pro-

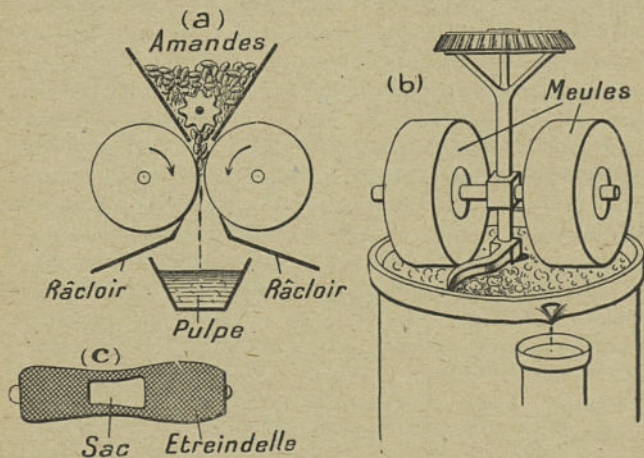


Fig. 249. — Extraction des huiles.

(a) broyeur ; (b) moulin pour écraser les graines oléagineuses ; (c) enveloppe pour compression de la pulpe.

céds combinés ; le premier de celui-ci est le plus répandu et donne lieu aux manipulations les plus simples. Les fruits, par exemple les *olives*, sont écrasés sous le poids d'une ou deux *meules* (fig. 249, b) roulant dans une sorte d'auge en granit ; s'il s'agit d'amandes ou de graines, elles sont d'abord concassées ou broyées (fig. 249, a) et la pulpe qui en résulte est ensuite soumise à l'écrasement par les meules précédentes. On obtient ainsi une bouillie épaisse dont on emplit des sortes de cabas, ou sacs plats en grosse laine, sur lesquels on replie un tissu en crin appelé *êtreindelle* (fig. 249, c) ; la matière, ainsi enfermée

dans cette enveloppe ajourée et résistante, est soumise ensuite à l'action d'une compression énergique, soit par un système de madriers formant levier, comme dans les petites installations de campagne, soit par une presse hydraulique dans les établissements plus importants. La première huile qui s'écoule est appelée *huile vierge*, c'est la plus estimée pour la consommation ; il reste dans le sac une sorte de galette appelée *tourteau* contenant encore une forte proportion de matière grasse ; pour en faciliter l'extraction, on chauffe après rebroyage et l'on soumet de nouveau à la compression ; on obtient ainsi une huile moins estimée, qualifiée d'*ordinaire*, et généralement réservée pour la fabrication des savons ou le graissage des machines. On peut encore extraire des *tourteaux*, ou *grignons*, par un second chauffage suivi d'une troisième presse, une huile inférieure, utilisable seulement en savonnerie.

Le second procédé, celui par *épuisement*, consiste à immerger les tourteaux presque épuisés dans un liquide volatil tel que la benzine, ou le sulfure de carbone, doué d'un pouvoir dissolvant considérable pour les corps gras. On opère à chaud et en vase *clos*, afin d'éviter le mélange dangereux des vapeurs combustibles avec l'air ; l'appareil comprend au moins deux capacités : l'une, chauffée modérément de façon à volatiliser le dissolvant qui y est contenu, l'autre, renfermant la matière à travailler et recevant les vapeurs en question ; celles-ci se condensent, s'emparent du corps gras, l'entraînent et reviennent dans le premier vase où elles seront volatilisées de nouveau, ramenées sur les tourteaux, et ainsi de suite jusqu'à épuisement complet de ceux-ci. Un tel dispositif prend précisément le nom d'*appareil à épuisement*, ou *digesteur*.

Il suffit ensuite de distiller le liquide obtenu dans un alambic spécial complètement clos : les vapeurs de sulfure de carbone viennent se rendre dans le réfrigérant où elles se liquéfient, prêtes à resservir, tandis que l'huile reste dans la chaudière.

Les huiles de tourteaux réchauffés et repressés sont facilement altérables, par suite de la présence de matières albuminoïdes et fermentescibles ; celles-ci sont détruites par un traitement à l'acide sulfurique qui carbonise les impuretés : on termine par

plusieurs lavages, pour éliminer l'acide et, ayant laissé reposer, on décante l'huile épurée qui s'est rassemblée à la surface.

**Propriétés des huiles.** — Presque toutes les huiles, étant abandonnées un certain temps à l'action de l'air, absorbent plus ou moins rapidement l'oxygène; il n'y a guère que l'huile de ricin qui fasse exception à cette règle.

Cette absorption se traduit par deux effets différents, selon la nature des huiles. Les unes restent liquides, mais *rancissent* (huile d'olives, de colza, etc.); les autres perdent progressivement leur fluidité, s'épaississent jusqu'au durcissement et prennent l'aspect d'une résine transparente : on les appelle huiles *siccatives*; elles servent alors en peinture et pour la fabrication de l'encre à tirage, ou encre d'imprimerie (mélange de *noir de fumée* et d'huile siccative). Cette *siccativité* est très marquée dans l'huile de *lin*, grâce à la présence d'une substance appelée *acide linoléique*; on peut l'augmenter considérablement par une douce ébullition préalable en présence de certains oxydants tels que le bioxyde de manganèse, le minium, etc., on obtient ainsi des *siccatifs* utilisés en peinture sous forme de mélange avec un excès d'huile de lin, additionné du colorant et de térébenthine.

**Constitution des corps gras.** — Si l'on prend un corps gras naturel quelconque et qu'on en soumette une portion à l'analyse chimique, on trouve des résultats assez variables selon l'origine de la substance. La complexité extrême des résultats s'ordonne avec une lumineuse clarté, si l'on a soin de faire préalablement ce que l'on appelle l'*analyse immédiate* des corps gras.

1<sup>o</sup> **Analyse immédiate.** — C'est une analyse *physique*, c'est-à-dire fondée sur l'action d'agents physiques tels que le refroidissement, la solubilité, la compression, etc., qui n'altèrent en aucune manière la constitution chimique des corps étudiés. Prenons par exemple, de l'*huile de palme*, sorte de graisse consistante jaunâtre, huileuse dans le pays d'origine, et qui s'extrait de certains palmiers; en la soumettant à une compression énergique, celle de la presse hydraulique, nous voyons s'écouler une substance liquide, huileuse, que l'on appelle



*oléine* (du latin *oleum*, huile) et il reste dans la presse un corps gras concret, solide, dénommé *palmitine*.

Considérons maintenant l'huile d'olives ; refroidissons-la vers 0° ; nous verrons se produire une séparation, qu'on observe d'ailleurs souvent en hiver : il apparaît une partie solide nageant au sein d'un liquide ; on peut en effectuer la séparation par filtration ou par compression et l'on obtient encore d'une part de l'*oléine* (partie fluide), d'autre part la *palmitine* (partie solide). Dans l'huile d'olives, et dans toutes les huiles en général, c'est l'*oléine* qui domine, tandis que, dans la graisse dénommée huile de palme, c'est la *palmitine* (encore quelquefois appelée *margarine*, nom impropre).

Du suif, nous pouvons retirer, par dissolution dans l'éther chaud, suivie d'un refroidissement, des cristaux blancs d'une nouvelle substance appelée *stéarine*, et un liquide qu'on trouve formé d'*oléine* et de *palmitine*.

En résumé, l'analyse immédiate, ou physique, nous montre les substances grasses *naturelles* comme étant constituées par le mélange, en proportions variables, d'un certain nombre d'espèces chimiques définies dont les principales sont la *palmitine*, la *stéarine*, l'*oléine*, auxquelles on peut adjoindre un petit nombre d'autres substances analogues telles que la *butyrine*, etc. Ces substances fondamentales sont ce qu'on appelle des *principes immédiats* des corps gras.

2° Analyse élémentaire et nature chimique des principes immédiats des corps gras. — Supposons maintenant que l'on applique les procédés de l'analyse chimique aux principes immédiats dont nous venons d'indiquer l'existence. On trouve que ceux-ci sont constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène et que *tous*, étant soumis à l'action prolongée d'un *alcali*, donnent naissance à une matière bien connue, la *glycérine*, et à un corps appelé *acide gras*, qui diffère d'après le principe immédiat considéré. Ainsi, l'acide gras de la *palmitine* est l'acide *palmitique*, celui de la *stéarine* est l'acide *stéarique*, et enfin celui de l'*oléine* est l'acide *oléique*.

Il résulte de là que tout principe immédiat gras peut être considéré comme résultant de la combinaison de la glycérine

avec un acide gras; dans cette réaction, il y a en outre mise en liberté d'une certaine quantité d'eau. On exprime ce fait en disant que les principes immédiats gras sont des *éthers* de la glycérine et que les corps gras naturels sont des mélanges plus ou moins complexes d'éthers de la glycérine.

Tout acide est caractérisé foncièrement, au point de vue chimique, par la propriété de se combiner à une *base* comme la potasse et la soude caustiques, la chaux, etc., pour donner naissance à un corps généralement neutre appelé *sel*. Le *caractère acide* des acides gras n'est pas décelé par une saveur aigre qui ici, est inexistante, mais bien par le fait ci-dessus rappelé que ces corps peuvent se combiner aux bases pour donner des sels; dans le cas présent, ceux-ci sont connus sous le nom générique de *savons*; les uns sont *solubles* dans l'eau, ce sont ceux usuels, à base de soude ou de potasse; les autres sont insolubles, inutilisables pour le nettoyage, mais sont néanmoins des savons au point de vue chimique général. On appelle *saponification* l'opération par laquelle un savon (du lat. *sapo*, même sens) prend naissance. Cela a lieu quand on fait agir la potasse, la soude ou la chaux caustiques sur un corps gras; celui-ci se scinde alors en deux parties: la *glycérine* qui est mise en liberté, et l'*acide gras* qui se combine à la *base* pour donner un *savon* et de l'eau. Ainsi, si l'on fait chauffer la palmitine, la stéarine ou l'oléine avec de la soude, il se produit, dans chacun de ces cas, de la glycérine, de l'eau, et un savon qui sera soit le palmitate de sodium, soit le stéarate, ou bien l'oléate de sodium.

#### **Fabrication des acides gras et des bougies. —**

Pour extraire les acides gras, on fait d'abord subir à un corps gras une *saponification* convenable, et l'on décompose ensuite le savon formé, pour mettre en liberté l'acide gras. Strictement parlant, pour obtenir un acide gras, il faudrait partir du corps gras correspondant tout à fait pur; par exemple, pour fabriquer de l'acide stéarique, il faudrait d'abord préparer de la stéarine absolument pure. On préfère partir d'un corps gras naturel complexe, ce qui fournit un *mélange d'acides gras*, que l'on sépare ensuite. Ainsi, si l'on veut avoir de l'acide stéarique, on



s'adressera au *suif* de bœuf ou de mouton (stéarine dominante, oléine et palmitine). Ceci posé, les diverses phases de la fabrication d'une *bougie stéarique* sont les suivantes :

1° **Saponification calcaire.** — On chauffe par la vapeur d'eau sous forte pression (8 kilogrammes environ), dans un appareil métallique complètement clos appelé *autoclave* (fig. 250), un mélange de suif, d'eau et de chaux. La saponification du corps gras s'effectue sous la double influence de la chaux et de l'eau surchauffée et dure une dizaine d'heures, pour quelques milliers de kilogrammes de matière. Après refroidissement, on a un liquide qui est une dissolution aqueuse de glycérine et que l'on utilise pour extraire celle-ci ; au-dessus de ce liquide, surnage une couche d'acides gras et de *savon calcaire* (stéarate, palmitate et oléate de chaux).

2° **Libération des acides gras.** — Le mélange de savon calcaire et d'acides gras est traité par l'acide sulfurique ; celui-ci décompose le stéarate de calcium, forme du sulfate de calcium insoluble et met en liberté l'acide stéarique, et de même pour les autres acides gras. On lave ceux-ci à l'eau chaude de façon à tout fluidifier, et on coule dans des *formes* en fer-blanc de très peu de profondeur.

3° **Séparation des acides gras.** — Ces corps, que nous venons de préparer seulement à l'état de mélange, peuvent être obtenus séparés, en mettant à profit leurs différences de fusibilité. En effet, tandis que l'acide stéarique fond à 70° et l'acide palmitique à 62°, l'acide oléique, au contraire, est déjà liquide à la température ordinaire ; s'il ne s'écoule pas de lui-même de la masse, c'est qu'il est retenu par l'adhérence naturelle de ces corps entre eux. La séparation s'effectue en

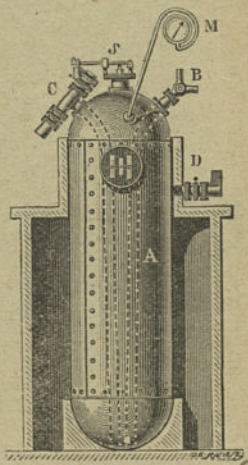


Fig. 250. — Autoclave pour la saponification calcaire des corps gras.



deux phases : A) *Pression à froid* ; les tablettes d'acides gras

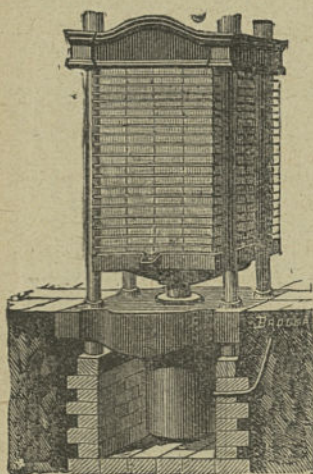


Fig. 251. — Séparation des acides gras par pression à froid.

sont soumises à l'action d'une presse hydraulique puissante (fig. 251) disposée de façon à recueillir le liquide oléique qui s'écoule ; B) On termine par un pressage à chaud, à une température telle (60° environ) que l'acide oléique soit amené à un état de fluidité parfaite, tandis que l'acide stéarique reste encore solide ; la presse est horizontale (fig. 252) et se compose de compartiments creux, en fer, où circule de la vapeur d'eau, et qui comprennent entre eux les plaques d'acides gras. Il reste entre les formes l'acide *stéarique*. Quant au liquide écoulé, il est constitué principalement par l'acide

*oléique* tenant en dissolution un peu des autres acides.

On fait subir à ces corps un certain nombre de purifications qui les amènent à un état sous lequel on peut les employer à la fabrication des bougies (acide stéarique) ou à celle des savons (acide oléique).

4° **Moulage des bougies.** — En voici le prin-

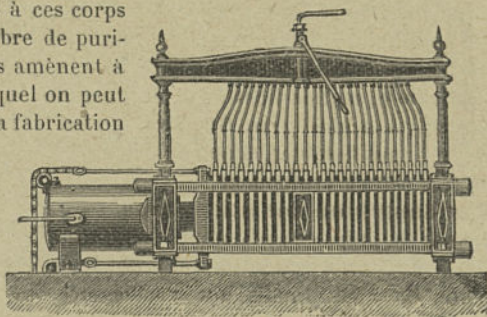


Fig. 252. — Élimination des dernières portions d'acide oléique par pression à chaud.

cipe : l'acide stéarique fondu est coulé dans des moules cylin-

driques (fig. 253) dont l'axe est occupé par une mèche en coton tressé imprégné d'acide borique, ce dernier ayant pour rôle d'éviter le fumage et le mouchage de la mèche. Un certain nombre de ces moules métalliques sont réunis dans une même caisse où l'on peut, à volonté, établir une circulation d'eau chaude ou froide (fig. 254). Au sortir de cette fabrication, les bougies sont un peu jaunâtres, on les blanchit par une exposition prolongée au soleil. Les anciennes *chandelles*, trop mollés, fuligineuses et d'odeur rance, étaient faites par des procédés analogues, en remplaçant l'acide stéarique par le *suif*, plus économique.

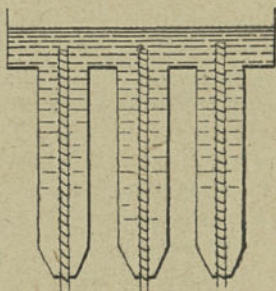


Fig. 253. — Moulage des bougies et des chandelles.

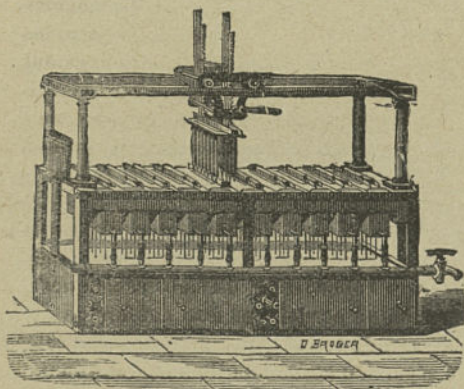


Fig. 254. — Machine à mouler les bougies.

REMARQUE. — Il existe d'autres procédés de saponification des corps gras, que nous ne ferons que mentionner : saponification par l'acide sulfurique ou par la seule vapeur d'eau surchauffée.

**Fabrication des savons.** — Un savon, au sens usuel, est, avons-nous dit, le corps

qui se produit dans l'action de la soude ou de la potasse sur un acide gras ; c'est donc un stéarate, un palmitate, un oléate de soude ou de potasse, ou un mélange de ces divers corps.

On voit, d'après cela, qu'on pourra provoquer la formation d'un savon de deux manières différentes en principe : 1<sup>o</sup> Par la combinaison pure et simple de l'acide gras avec l'alcali ; c'est ce qui a lieu pour l'*acide oléique* qui, nous venons de le voir, est un produit résiduel important dans la fabrication des bougies ; 2<sup>o</sup> Par le procédé moins direct, déjà expliqué, de la *saponification* ou de l'action d'un alcali sur un corps gras avec formation d'un *savon* et libération de *glycérine* ; c'est ce dernier procédé qui est le plus généralement suivi. Il y a des difficultés que l'on comprend mieux quand on connaît les principales propriétés des savons.

**Propriétés essentielles des savons.** — Les savons usuels sont ceux à base de soude (savons durs) et à base de potasse (mous). Étant mis en présence de l'eau, ils se dissolvent peu à peu mais en éprouvant une décomposition, même dans l'eau pure, distillée, comme en témoigne l'aspect opalescent que prend ce liquide. Les savons les plus solubles, ceux par conséquent qui se rincent le mieux, sont obtenus au moyen de l'acide oléique ou des huiles (olives, sésame, arachide, etc.) ; tandis que les savons fabriqués avec les corps gras plus concrets, acide stéarique, graisse de palme, etc., sont moins solubles et se rincent moins bien.

Un bon savon doit se dissoudre complètement dans l'eau bouillante ou dans l'alcool ; mais, par refroidissement, la transparence disparaît et, si la quantité de dissolvant est faible, on obtient une sorte de gelée savonneuse.

Les savons à base de soude sont insolubles dans l'eau salée (ce qui explique que l'on ne peut savonner dans l'eau de mer), ainsi que dans les lessives concentrées, d'alcalis caustiques ou carbonatés. Cette insolubilité ne doit pas être confondue avec une décomposition du savon ; celui-ci, au contact de l'eau salée, n'est pas altéré, il se sépare du restant du liquide, voilà tout ; il n'en serait pas de même en présence d'un acide, même comme celui du vinaigre, qui décomposerait le savon en s'emparant de l'alcali, de manière à former un sel chimique soluble, et mettrait en liberté l'*acide gras*, qui se réunirait en une couche gluante.



Les savons à base de potasse sont, au contraire, décomposés par l'eau salée (chlorure de sodium) et, d'une manière générale, par tous les sels de sodium avec formation d'un sel de potassium soluble et d'un *savon de soude*.

Enfin, tout savon quelconque, à base de soude ou de potasse, étant mis en présence d'une solution saline de calcium, de magnésium, d'aluminium, de fer, etc., éprouve une décomposition qui aboutit à la formation d'un savon *insoluble* de chaux, de magnésie, d'alumine, de fer, etc., qui apparaît sous l'aspect d'une infinité de *grumeaux* au sein de la liqueur. C'est ce qui fait que l'on ne peut savonner convenablement en faisant usage d'eaux trop calcaires ou magnésiennes, et d'une manière générale, d'eaux naturelles trop *dures*, c'est-à-dire trop minéralisées comme cela se présente pour les eaux de *puits* et celles qui proviennent de terrains calcaires ou gypseux ; tandis que les eaux de *pluie*, ainsi que celles qui ont roulé sur les terrains granitiques, sont douces au toucher savonneux.

D'après ce qui précède, on a une idée des difficultés qui vont se rencontrer dans la fabrication des savons, notamment celles qui proviennent de l'*insolubilité* des *corps gras dans l'eau* et de celle du *savon* dans les *lessives concentrées* caustiques ou carbonatées. C'est en effet une remarque, constamment vérifiée en chimie, que les corps réagissent d'autant mieux les uns sur les autres qu'ils sont en contact par une plus grande surface ; cette condition est le mieux réalisée lorsque les corps se trouvent à l'état *fluide*, gazeux ou dissous, en pénétration réciproque ; ceci explique pourquoi l'obtention d'une grande quantité de savon, en présence de l'eau, est une opération si longue, tandis qu'elle s'effectue très rapidement au sein de l'*alcool* (procédé Courtonne), qui modifie heureusement les solubilités, ou par l'émulsionnement qui accroît énormément la surface de contact.

**Classification des savons.** — On peut classer les savons soit par rapport à la composition des matières premières, soit relativement au mode de fabrication. Pour ce qui est de la composition, les savons à base de soude sont durs, ceux de

potasse sont mous ; on peut faire des savons d'huile d'olives, de palme, de suif, de résine, etc.

En ce qui concerne le mode d'obtention, on distingue les savons à peu près purs, débarrassés des résidus de fabrication, obtenus par le procédé dit de *grande chaudière* (savons de Marseille, etc.) et les savons impurs, dits de *petite chaudière*, *brassés*, ou d'*empâtage*, qui contiennent toutes les matières étrangères de la lessive ou des corps gras, la glycérine, etc. (savons mous, savons brassés).

1<sup>o</sup> **Savons à la grande chaudière.** — Nous prendrons comme exemple la fabrication d'un des meilleurs savons

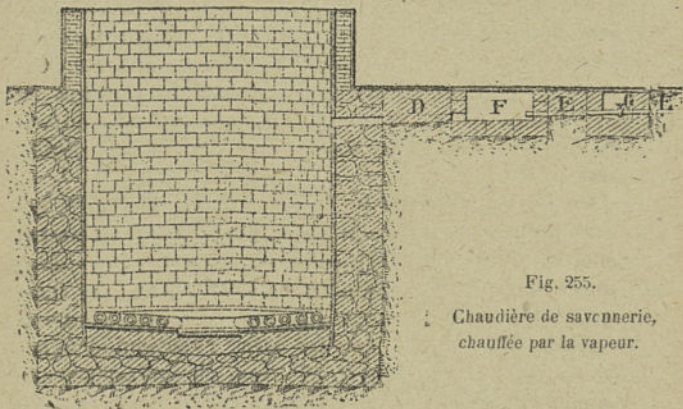
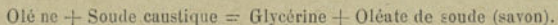


Fig. 255.

Chaudière de savonnerie,  
chauffée par la vapeur.

qui existent : celui de Marseille ; la matière grasse qui est principalement employée est l'huile d'olives additionnée de quelques autres huiles coloniales. Nous rappelons que l'opération fondamentale à effectuer se réduit chimiquement à celle qui est exprimée par l'équation ci-dessous :



Pratiquement, cette réaction, si simple en théorie, ne se réalise que peu à peu par étapes successives, qui sont : l'empâtage, le relargage, la cuisson et la liquidation. On opère dans des

chaudières d'une grande capacité, généralement en maçonnerie, à fond métallique, chauffées par un serpentín de vapeur placé à la partie inférieure (fig. 255).

1<sup>o</sup> **Empâtage.** — On verse dans la chaudière une certaine quantité de lessive alcaline *faible*<sup>1</sup>, marquant 10° à 12° Baumé, et, peu à peu, la matière grasse, sous forme d'un filet continu, tandis qu'on brasse énergiquement et qu'on chauffe progressivement; la masse entière s'émulsionne, c'est-à-dire que le corps gras se divise en une infinité de petites gouttelettes en suspension dans la lessive, d'où un énorme accroissement de surface qui favorise la réaction des deux corps l'un sur l'autre. Aussi, si l'opération a été habilement conduite, on a une matière d'aspect homogène où l'on ne peut distinguer ni l'huile ni la lessive : c'est la *pâte*; on chauffe alors davantage, de façon à provoquer l'ébullition, les matières réagissent chimiquement et il se produit une écume abondante qui s'affaisse ensuite peu à peu.

Si l'on a en vue d'obtenir ultérieurement un savon *marbré*, on ajoute à la masse 1 à 2 millièmes de sulfate ferreux (vitriol vert).

On laisse ensuite reposer douze heures.

2<sup>o</sup> **Relargage.** — L'opération précédente a bien eu pour effet la formation du savon mais elle ne nous le donne pas libre, ni sous la forme marchande exigée.

En effet le liquide de la chaudière est formé d'une lessive épuisée chargée de la glycérine mise en liberté et de globules savonneux dissous ou imprégnés de lessive faible. Pour amener le savon à sa composition définitive, il faudra lui incorporer une quantité d'alcali plus grande, ce à quoi s'opposerait la trop grande masse aqueuse qui la baigne ou qui l'imprègne. Il s'agit donc d'enlever cette eau, cette glycérine, ces sels, sans toucher au savon; on arrive à séparer celui-ci à l'état pur, de son bain, comme on le fait lorsqu'on

1. Les savonneries préparent elles-mêmes les lessives caustiques dont elles ont besoin en *caustifiant* le carbonate de soude, c'est-à-dire en chauffant sa solution étendue avec de la chaux vive et maintenant longtemps l'ébullition.



veut, en chimie, isoler un corps dissous, en ajoutant à sa solution un réactif qui l'insolubilise. Ici le réactif employé est le chlorure de sodium, ou sel ordinaire, dans la solution duquel le savon de soude est insoluble, comme nous l'avons déjà indiqué. On verse donc dans la chaudière, par petites portions à la fois, tout en maintenant l'ébullition, une lessive faible en soude, mais *salée* marquant 28° à 30° Baumé. On agite avec un râble et, peu à peu, le savon monte en grumeaux à la surface, tandis que la lessive véritable *eau-mère*, gagne le fond. On laisse reposer quelques heures et on soutire cette lessive salée par la partie inférieure (c'est ce qu'on appelle l'*épinage*).

3° **Cuisson.** — La pâte savonneuse, dont l'empâtage a amorcé la formation, que le relargage a lavée des matières glycérolineuses et étrangères et débarrassée de l'excès d'eau, est maintenant à point pour recevoir le complément d'alcali caustique qu'elle réclame. On ajoute donc dans la chaudière, en plusieurs fois successives, des charges de lessives salées de plus en plus caustiques, 24° puis 26°, enfin 28° Baumé; c'est ce qu'on appelle faire *plusieurs services*; chacun de ceux-ci dure plusieurs heures, a lieu à l'ébullition et est séparé de celui qui le précède par un soutirage préalable de la lessive épuisée qui vient de servir. La preuve que la pâte savonneuse absorbe la soude au fur et à mesure, c'est que le degré d'alcalinité de la lessive va progressivement en s'atténuant et finit par s'annuler à la fin de chaque service, ce qui se constate même simplement *au goûter* et sert de critérium de terminaison à chacune de ces opérations.

Au bout de trois services, par suite de l'action des lessives alcalino-salées et de l'ébullition, les granules savonneux, à excès d'acide gras et peu solubles, se transforment en véritable savon soluble. On considère la cuisson comme terminée lorsque, prenant une petite quantité de pâte entre les doigts, on obtient des écailles dures et sèches et que la lessive, par suite de l'évaporation, marque 30 à 32° Baumé.

4° **Liquidation.** — C'est une opération assez compliquée qui a pour but de purifier le savon, en éliminant les savons colorés étrangers qui se sont formés grâce à la présence, dans

la soude, d'une certaine quantité de fer ou d'alumine, etc. En même temps, cette épuration a pour effet d'incorporer dans le savon une quantité d'eau considérable; elle s'effectue, en effet, en ajoutant peu à peu à la masse une lessive faible, et même de l'eau, jusqu'à ce que tous les grains savonneux se soient ramollis ou fondus. On couvre alors la chaudière et on l'abandonne au repos pendant trente-six heures. Les matières étrangères se précipitent et on trouve finalement à la surface le bon savon blanc, au-dessus d'une couche colorée appelée *gras*, surmontant elle-même la lessive.

La masse liquide pure est ensuite versée dans des sortes de moules appelés *mises* où elle se solidifie par refroidissement.

**Madrage.** — Les savons *marbrés* ou *madrés* s'obtiennent en provoquant la formation au sein du savon blanc, de veines noires ou bleuâtres dues à un savon de fer ou d'alumine, ou même à un peu de sulfure de fer.

Cet effet est obtenu en versant dans la chaudière, au moment de l'empâtage, un peu de vitriol vert, comme cela a été déjà indiqué. Ensuite après la cuisson, on ne fait pas une liquidation aussi complète que la précédente, de manière à ce que la masse garde une contexture plus pâteuse, et l'on brasse verticalement. On coule en mises comme précédemment; la marbrure intérieure résultera de stries suivant lesquelles apparaîtront les savons colorés alumino-ferreux.

Les savons sont ensuite découpés en barres, séchés à l'air et mis en vente.

**Savons mous.** — Les savons mous à base de potasse sont obtenus en partant de diverses matières grasses, graisse de porc, de cheval, huile de poisson, huiles de lin ou d'œillette, de colza, etc., saponifiées au moyen d'une lessive de potasse caustique. On opère presque à l'ébullition et on brasse continuellement. Il n'y a ni relargage, ni liquidation; les opérations se réduisent à l'empâtage et à la cuisson ou cuite, de sorte que ces savons renferment la glycérine et toute la lessive employée; ils sont fortement colorés en vert ou en brun, soit à cause des corps gras eux-mêmes, soit par suite d'une addition de diverses matières telles que l'indigo, etc. Si l'on faisait subir, à un



savon de potasse, l'opération du *salage* ou *relargage*, il se produirait une double décomposition, avec formation de chlorure de potassium soluble, et d'un savon dur de soude; cette réaction a été parfois appliquée.

2<sup>o</sup> **Savons à la petite chaudière.** — Ces savons, dits encore d'*empâtage*, ou savons *brassés*, ne subissent qu'un relargage insuffisant et contiennent, comme les savons mous, toutes les matières résiduelles de la fabrication, ainsi qu'une proportion d'eau considérable. Aussi peut-on les vendre très bon marché.

**Savons d'acide oléique.** — Lors de la substitution des bougies stéariques aux anciennes chandelles, de grandes quantités d'acide oléique devinrent disponibles. On ne sut guère d'abord qu'en faire; les savonniers de cette époque, accrés dans leur routine, refusaient d'adopter le nouveau produit pour leur fabrication. C'est alors que M. de Milly, fondateur de la nouvelle industrie des bougies, eut l'idée d'installer lui-même une savonnerie, comme annexe de sa fabrique de bougies, afin d'utiliser l'acide oléique qu'il produisait. Le succès couronna ses efforts et le *savon de l'Etoile* acquit bien vite une renommée justifiée. Le procédé consiste, évidemment, à opérer comme dans la méthode générale marseillaise d'obtention du *savon à grains*, que nous avons décrite. La combinaison de l'acide oléique avec la soude est très rapide, ce qui se comprend, relativement à la durée de l'empâtage ordinaire. On procède tout de même à un relargage, non pour enlever la glycérine qui est absente, mais pour expurger de la matière savonneuse l'excès d'eau et favoriser l'opération de la cuisson. On obtient ainsi un savon parfaitement grené. On procède ensuite comme d'habitude, à la liquidation, au coulage en mises, au coupage et au séchage. Ajoutons que la méthode marseillaise des quatre opérations est la seule susceptible de fournir un beau et bon savon.

**Savons résineux.** — Ce sont des savons d'usage plutôt industriel, dans la composition desquels entre une certaine proportion de *résine* introduite au moment de la cuisson. Il en résulte l'absorption d'une quantité correspondante de lessive.



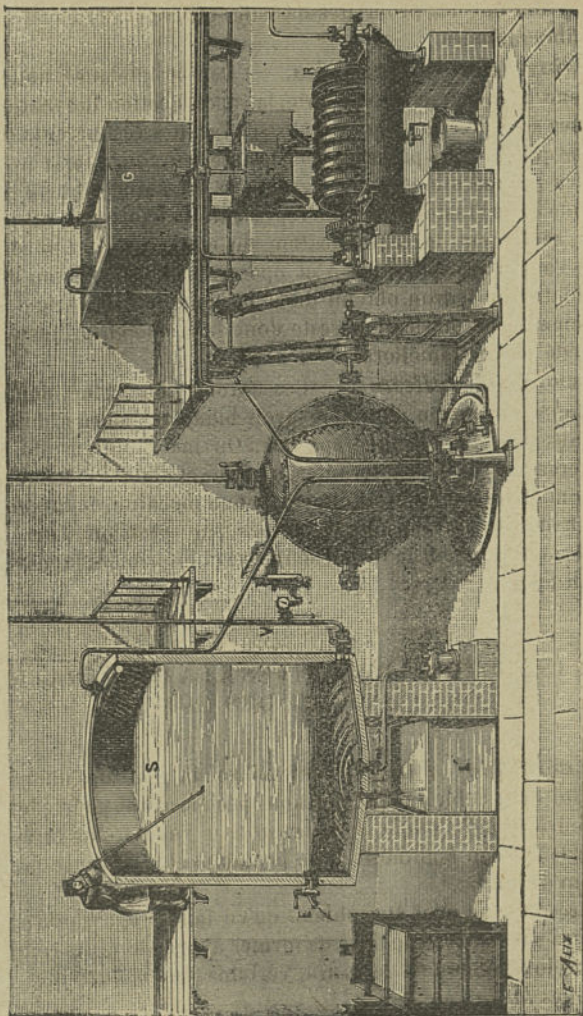


Fig. 256. — Fabrication des savons en vase clos, avec extraction de la glycérine.

Ces savons ont des propriétés spéciales utiles pour le décreusage des fibres textiles.

**Fabrication en vase clos.** — Depuis quelques années, on tend à réaliser, en savonnerie, la saponification des matières grasses sous pression, en vase clos, de façon à récupérer la *glycérine* qui, dans les procédés décrits antérieurement, est perdue. Toutes les opérations peuvent se faire en autoclave : ou bien comme dans l'installation que représente la figure 256, on peut faire seulement la saponification du corps gras par la soude dans l'autoclave sphérique A et opérer ensuite la cuisson et la liquidation du savon obtenu dans la chaudière ouverte S. Le principe de la fabrication reste donc le même en principe, le procédé seul est amélioré.

**Savons de toilette.** — Ces savons sont généralement fabriqués au moyen d'un bon savon blanc ordinaire réduit en copeaux par une machine spéciale. On incorpore ensuite des matières odorantes et colorantes, on broie et malaxe le tout et on redonne de la cohésion au moyen d'une machine *boudineuse*. Ces boudins sont ensuite estampés par pression dans des moules qui donnent la forme définitive et impriment la marque de fabrique.

## V. — INDUSTRIES RELATIVES A LA PRÉPARATION DES PEAUX ET DES CUIRS

**Généralités.** — On ne peut utiliser la peau des animaux sans lui faire subir une préparation spéciale ayant pour effet de la rendre *imputrescible, imperméable* à l'eau froide et *insoluble* dans l'eau bouillante. Une peau ainsi transformée prend le nom de *cuir*.

Ce résultat ne peut être obtenu qu'en faisant agir sur la peau diverses substances capables de former avec celle-ci des composés insolubles, comme le *tanin*, certains *sels métalliques*, ou certaines *huiles*, etc.

Le procédé le plus répandu encore aujourd'hui est certaine-

ment celui qui est basé sur l'action du *tanin*. Les peaux utilisées sont celles des animaux de ferme : bœuf, vache, taureau, cheval, mouton, chèvre, porc, lapin, etc. ; puis celles des animaux domestiques, chat, chien et enfin celles des bêtes sauvages ; dans ce dernier cas, la peau reste généralement garnie de son poil et constitue alors une *fourrure*, ou *pelletterie* (loutre, castor, etc.).

Le bœuf, la vache, le taureau, etc., donnent des *cuirs forts*, utilisés pour confectionner la semelle des chaussures ; le mouton, la chèvre, le veau fournissent des *cuirs mous*, ou de molleterie, servant en cordonnerie (tige des chaussures), sellerie, maroquinerie, etc. Le chevreau, l'agneau, le veau sacrifiés très jeunes, le chien, le chamois, etc., donnent les *cuirs fins* utilisés pour la fabrication des gants ou les articles de cordonnerie extra-fine.

### 1<sup>o</sup> Tannage au tanin.

**Tanin.** — Le *tanin*, ou *acide tannique*, est une substance astringente, très soluble dans l'eau, qui s'extrait de l'écorce de certains arbres : chêne, châtaignier, saule, bouleau, sumac, etc. Il en existe aussi dans ces excroissances appelées *noix de galle* qui se développent sur les feuilles de chêne lorsque celles-ci ont été piquées par un insecte appelé *cinips*. Dans l'industrie du tannage, on n'a pas besoin d'effectuer l'extraction coûteuse du tanin lui-même, puisqu'on serait obligé de le redissoudre dans l'eau ; il suffit d'en préparer une solution étendue au moyen de l'écorce de chêne en poudre (ce qu'on appelle le *tan*), ou bien au moyen du châtaignier, etc. Cette pulvérisation est effectuée dans des usines spéciales, qui fabriquent encore, pour les besoins de la tannerie, des *extraits tannants*, solutions concentrées de tanins, obtenus par l'action de l'eau chaude, clarification au filtre-pressé et concentration dans le vide.

La propriété capitale du tanin est de former, avec les constituants albuminoïdes et autres substances azotées de la peau, une combinaison insoluble et imputrescible qui est le cuir.

**Trempage et reverdissage.** — Les peaux de *pays*



c'est-à-dire de bêtes tuées dans la région, arrivent chez le tanneur, *fraîches*, molles et élastiques, celles des pays étrangers lui parviennent *raides*, *sèches* ou *salées*, en vue de leur conservation pendant le voyage; elles ont besoin de subir le *reverdissage*, au moyen de l'eau renouvelée en abondance, afin de les dessaler et de leur restituer la flexibilité indispensable au travail. Les peaux fraîches, elles aussi, sont trempées dans l'eau pendant quelques jours, afin de les débarrasser des souillures, taches de sang, etc.

Ces opérations exigeant une grande quantité d'eau s'effectuaient autrefois au bord d'un cours d'eau, d'où le nom de *travail de rivière* qu'on leur donne encore actuellement.

**Pelanage et épilage.** — Le tannage ne s'effectue que lorsque la peau a été préalablement débarrassée des poils qui constituent la *toison* de l'animal. Il faut donc provoquer la dissociation de l'*épiderme*, qui porte ces poils, d'avec le *derme* sous-jacent destiné à constituer seul le cuir. On parvient à défaire cette adhérence des deux couches de la peau en détruisant la base interne de l'*épiderme*, dite *couche de Malpighi*, soit par une *fermentation* spéciale appelée *échauffe*, soit par l'action de certains *ingrédients chimiques*, soit enfin en combinant les deux moyens: c'est ce qu'on appelle le *pelanage*.



L'opération de l'*échauffe* consiste à provoquer la pullulation de certains microbes qui putréfient la couche de Malpighi et facilitent la séparation ultérieure du derme d'avec l'*épiderme*.

Dans la seconde méthode, on immerge les peaux dans un lait

de chaux appelé *pelain*, d'où le nom de *pelanage* donné à l'opération. On peut aussi employer le sulfure de sodium. Ces agents chimiques agissent en partie par eux-mêmes, en partie en favorisant l'action de certains microbes sur la couche de Malpighi.

Après un lavage abondant, on passe ensuite à l'*épilage*, ou *débouillage*, qui consiste à enlever les poils d'un côté et les débris de chair de l'autre ; pour cela, la peau est appliquée par son côté *chair* sur un appareil appelé *chevalet de rivière* (fig. 257), c'est un madrier à surface arrondie, soutenu obliquement par un tréteau et calé à son autre extrémité ; la peau se présente par son côté *fleur* (côté des poils) et l'ouvrier la racle avec un outil en fer, appelé *couteau rond* à cause de sa forme. On recommence un travail analogue en retournant la peau, pour l'*écharner* ; on lave ensuite abondamment.

**Gonflement.** — La peau n'est pas encore prête à subir parfaitement l'action des liquides tannants ; il faut, au préalable, ouvrir ses pores, éliminer l'excès de chaux et gonfler la matière en la mettant en contact avec des liquides un peu *acides*. On y arrive en plongeant les peaux dans un liquide appelé *jusée* ; c'est de l'eau dans laquelle on a projeté du *tan aigri*, ou *tannée*, qui renferme, par suite d'un commencement de fermentation microbienne, une certaine proportion d'acide acétique et d'acide lactique qui neutralisent l'excès de chaux, gonflent la peau et la mettent en état de mieux subir l'action du tanin.

Pour les cuirs souples, ou mous, dont l'épilage a été fait à la chaux, on élimine celle-ci en plongeant les peaux dans des mixtures dénommées *confits*, sortes de mélanges hétéroclites où l'on voit figurer le son, la fiente d'oiseaux et même des ordures de chien. Ces matières malpropres interviennent évidemment par les microbes qu'elles apportent et par la souplesse qu'elles donnent à la peau, par suite de substances bilieuses et autres qu'elles contiennent.

**Tannage proprement dit.** — Dans de grandes fosses on superpose, par couches alternatives, le *tan* et les peaux, jusqu'à ce qu'on atteigne le niveau du sol ; on termine par une

couché de tan, puis on fait arriver de l'eau dans la masse et on abandonne le tout pendant plusieurs mois. Au bout de ce temps, on vide la fosse et on recommence l'empilage, avec interposition de tan neuf; on fait arriver l'eau et on attend encore plusieurs mois. On recommence encore deux à trois fois ce manège, qui immobilise ainsi la peau pendant un an et plus. Grâce à cette lenteur, à cette action progressive et prolongée du tannin, la peau s'en trouve intimement pénétrée jusqu'au cœur et complètement transformée en cuir.

Malheureusement la durée considérable de ce procédé exige l'immobilisation de capitaux considérables représentant le prix de la marchandise en travail. On peut faire un *tannage dit rapide* en combinant l'action du tan avec celle des *extraits tannants* de plus en plus usités et opérant dans des appareils rotatifs. On a essayé aussi l'action du courant électrique.

**Corroyage.** — Au sortir des fosses, on a ce que l'on appelle le *cuir à œuvre*, qui doit subir un certain nombre

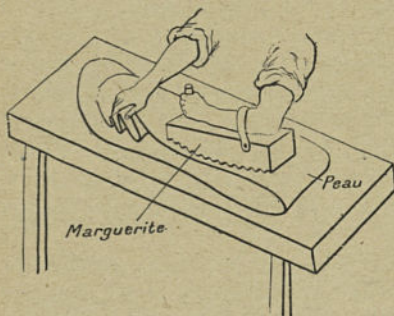


Fig. 258.

d'opérations en vue de l'assouplir, de le rendre compact, et d'aspect marchand. Dans ce but, il subit un *foulage* qui le débarrasse du tan adhérent, un travail d'égalisation avec une machine dite à *refendre*, munie d'un couteau tranchant; il est ensuite travaillé avec un bloc de bois convexe et cannelé appelé *marguerite* (fig. 258) qui triture, rebrousse et assouplit la surface; on l'imbibe ensuite d'une substance grasse appelée *dégras*, dont on enlève l'excès après séchage; le cuir est ensuite étiré par frottement sur une arête mousse appelée *étire*, et puis *ciré*, c'est-à-dire recouvert d'un cirage spécial, à base d'huile et de noir de fumée, et enfin poli avec une lame arrondie (ce qu'on appelle le *glaçage*).



L'ensemble de toutes ces opérations constitue le travail du corroyeur, lequel succède à celui du tanneur.

Les cuirs forts ne reçoivent ni la couche de noir ni des opérations de corroyage aussi complexes.

Les cuirs *verniss* reçoivent plusieurs préparations successives d'oxyde de plomb et d'ocre délayés dans de l'huile de lin siccativ, suivies d'un séchage à l'étuve et d'un polissage à la pierre ponce, de façon à bien boucher les pores du cuir ; puis on termine par une application de vernis noir ; celui-ci est composé généralement de bitume de Judée, de noir de fumée, de vernis au copal, d'huile siccativ et de térébenthine.

**Maroquinerie.** — Le cuir dénommé *maroquin* n'est pas autre chose que de la peau de mouton ou de chèvre tannée au moyen de *sumac*, plante qui croit dans la région méditerranéenne. Ce cuir est généralement teint en noir ou en couleur.

Le noir s'obtient au moyen d'un bain de sumac et d'un sel de fer, ou de bière aigrie mise en contact avec de la ferraille. Le bleu se fait par un procédé rappelant celui de la *cuve d'indigo* pour les étoffes (cuve contenant de l'eau douce, de l'indigo, de la chaux et du sulfate de fer ; on expose ensuite à l'air et on rince). Ces diverses teintures, ainsi que celles obtenues au moyen de couleurs d'aniline, sont effectuées *après* tannage ; il n'en est pas de même du rouge qui se fait *avant* l'action du sumac ; pour cela on *mordance* la peau, c'est-à-dire qu'on l'imprègne d'un sel métallique tel que le *sel d'étain* (chlorure stanneux) ou l'*alun*, capable de fixer d'une façon indélébile le colorant sur la peau ; ensuite celle-ci est plongée dans un bain de cochenille, de garance ou d'alizarine, puis on rince et on procède au tannage.

Une fois la peau teinte et tannée, on la traite par l'huile pour lui donner de la souplesse ; elle passe ensuite au corroyage, puis on la lisse ou bien on lui donne l'aspect *chagriné* en la faisant passer entre des cylindres à surface grenue.

Le cuir de *Russie* doit son odeur à une essence spéciale contenue dans l'écorce de *bouleau* ou de saule qui a servi à le tanner.

Ajoutons que beaucoup de cuirs de mouton ou de veau sont sciés suivant leur épaisseur, afin d'en doubler ou tripler le rendement, et renforcés ensuite sur toile ou carton.

## 2° Tannage aux sels métalliques.

On peut tanner à l'*alun* ou au *chrome*.

**Tannage à l'alun. — Mégisserie.** — Les cuirs fins employés pour la confection des gants et des chaussures de luxe ne sont pas traités par le tanin, mais par une solution d'*alun* et de sel marin ; on obtient ainsi des produits de *mégisserie*, des veaux mégis, etc.

L'alunage est précédé d'une *mise en confit*, c'est-à-dire d'une immersion dans un bain de son *aigri* qui, par son acidité, ouvre les pores de la peau.

Après l'alunage, on procède à la mise en *pâte*, qui consiste à appliquer sur la peau une mixture de jaunes d'œufs battus avec de la farine. Ce traitement a pour effet d'adoucir la peau et d'en éclairer la teinte. Puis on sèche et on passe au *palisson*, sorte de lame à bord non tranchant sur laquelle on *étire* la peau.

Le *hongroyage* est analogue au mégissage, sauf qu'il s'applique à des cuirs plus forts utilisés en sellerie. On remplace d'ailleurs économiquement la mise en pâte d'œufs par une mise en suif.

**Tannage au chrome.** — Les sels de fer, d'aluminium, de chrome, ont au point de vue cuir des propriétés analogues à l'alun et au tanin. Le procédé aux sels de chrome se répand de plus en plus grâce à sa rapidité d'action. Actuellement on opère avec l'alun de chrome *violet*, c'est-à-dire dissous dans l'eau froide (l'action de la chaleur donnerait l'alun *vert* doué de propriétés un peu différentes); le bain est additionné de soude et il se dépose, dans la fibre du derme, du sesquioxyde de chrome qui forme avec la peau une combinaison imputrescible, mais cependant moins imperméable que celle produite par le tanin.

### 3<sup>o</sup> Tannage à l'huile. — Chamoiserie.

Ce procédé consiste à traiter la peau, après les opérations préliminaires indispensables de reverdissage, pelanage, mise en confit analogue au mégissage, à la traiter, disons-nous, par l'huile de poisson (morues, phoques, etc.). La peau est abandonnée ensuite à elle-même, elle s'échauffe par suite d'un commencement de fermentation (échauffe), puis on la dégraisse et on la soumet au *palissonnage*, dans le but de faire disparaître les plis. Tel est le principe du chamoisage.

### 4<sup>o</sup> Parcheminerie.

Le parchemin animal est obtenu par une simple dessiccation de la peau. A proprement parler, ce n'est pas un cuir.

### 5<sup>o</sup> Pelleterie.

Les fourrures ne subissent pas l'action du tanin, mais une série de traitements analogues à ceux usités en mégisserie (alunage) ou en chamoiserie (huilage). Finalement, on donne du brillant au poil par l'opération du *lustrage* qui consiste à traiter la fourrure par des ingrédients tels qu'une solution alcoolique de gomme laque, de jaunes d'œuf et d'huile de coton.

Si l'on veut imiter les mouchetures blanches naturelles, on fait, de place en place, des applications judicieuses d'un décolorant tel que l'eau oxygénée, l'hydrosulfite de sodium, etc.

A vrai dire, les fourrures d'animaux sauvages, loutre, castor, renard bleu, etc., se font de plus en plus rares, par suite de la destruction, plus importante que la reproduction, qu'amène une chasse sans merci.

Pour satisfaire le goût immodéré du luxe, qui est une des caractéristiques de notre époque, les fourreurs ont dû s'ingénier



à remplacer les fauves introuvables par des bêtes plus prosaïques, mais abondantes ; c'est au modeste lapin de clapier qu'est dévolu le rôle de remplacer, en subissant d'avantageux avatars, la blanche hermine, la zibeline, le chinchilla, le castor ou la loutre, etc. Il nous suffira de dire que, tandis que l'activité des chasseurs du monde entier n'arrive pas à fournir plus de 60.000 peaux sauvages, la France transforme annuellement en

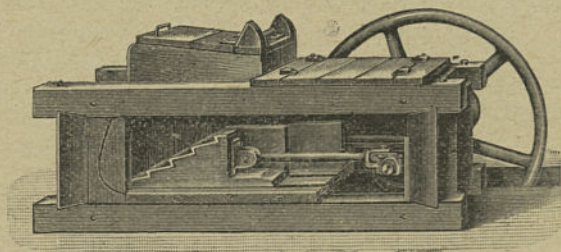


Fig. 259. — Foulon de pelleterie.

fournitures artificielles 25 millions de peaux de lapin ; ajoutons de suite que ces peaux font prime sur les marchés étrangers, tant par suite de l'habileté avec laquelle elles ont été traitées, que par l'excellence du produit naturel lui-même, dont on ne trouve pas l'équivalent dans d'autres pays.

Ces peaux de lapin subissent trois traitements successifs, en passant par les mains de l'*apprêteur*, du *lustreur*, et enfin du *pelletier-fourreur*.

**Apprêt.** — L'apprêteur leur applique les procédés de travail du chamoiseur, ou tannage par l'huile. Après divers préliminaires, déjà décrits antérieurement, la principale opération est celle du *foulonnage*, qui consiste à imprégner la peau de *dégras* et à la soumettre au battage répété de maillets en bois, dans un appareil spécial appelé *foulon de pelleterie* (fig. 259) ; la *peau* passe ainsi à l'état de *pelleterie* ; elle est ensuite débarassée de l'excès de corps gras au moyen de la sciure de bois ou du plâtre.

Il est, d'ailleurs, d'usage de régler la longueur des poils, selon la

fourrure à imiter ; cela se pratique par le jeu d'une *machine à raser* (fig. 260), où la peau est amenée, par une toile sans fin, devant les lames courbes d'une coupeuse hélicoïdale tournant à grande vitesse.

Vient ensuite une opération très délicate appelée *épilage* ou *éjarrage*, qui consiste à supprimer tous les *jars*, c'est-à-dire

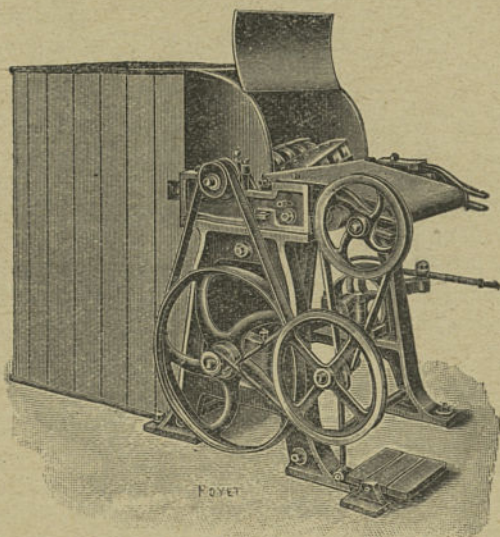


Fig. 260. — Machine à raser les peaux.

les poils longs et rudes, en plus ou moins grand nombre, qui émergent au-dessus de la couche de poils plus fins formant le *duvet*. Cette ablation méticuleuse, faite jadis à la main, est maintenant réalisée par une ingénieuse machine, l'*épilouse* (fig. 261), qui consiste en une toile sans fin, enroulée d'une part sur le tambour B et passant, d'autre part, autour du coin arrondi A ; sur cette toile, on épingle la peau qui vient alors présenter successivement tous ses points à l'action de deux brosses C, C' qui couchent le duvet, tandis que les *jars*, plus

rétifs, se redressent et sont coupés par une lame tranchante enchâssée dans le rouleau D.

Le lustreur teint les peaux soit en *plein*, d'une seule teinte.



Fig. 261. — Disposition schématique des organes de la machine à épiler.

soit en donnant au fond une nuance un peu différente de l'extrémité du poil.

Enfin le pelletier-fourreur coupe et assemble les peaux, les confectionne et les amène à l'état d'objets marchands : vêtements, manchons, etc.



## CHAPITRE V

### INDUSTRIES DE L'ALIMENTATION

SOMMAIRE. — *Meunerie.* — *Boulangerie.* — *Pâtes alimentaires.* — *Beurre.* — *Fromages.* — *Conservees alimentaires.* — *Sucre.* — *Confiserie.* — *Vin.* — *Cidre.* — *Bière.* — *Alcools et eaux-de-vie.* — *Vinaigre.*

#### I. — MEUNERIE ET BOULANGERIE PÂTES ALIMENTAIRES

**Meunerie.** — Nous avons déjà fait connaître antérieurement, à propos des amidonneries et féculeries (Voir § 3, Chap. IV), la constitution d'un grain de blé (fig. 242). L'art du *meunier* consiste à amener le grain, par l'opération appelée *mouture*, à l'état de poudre dite *boulangé* ; de celle-ci on sépare ensuite, par le *blutage*, la *farine* proprement dite, le *gruau* et le *son*. Ce dernier est donné par l'enveloppe externe cellulosique, ou *péricarpe*. La partie centrale de l'albumen, relativement pauvre en *gluten* donne la farine la plus fine et la plus appréciée, ou *fleur*. La partie périphérique de l'albumen, beaucoup plus riche en *gluten*, fournit une poudre granulée appelée *gruau gris* ; de la partie moyenne on tire le *gruau blanc*. Quant à l'embryon, ou germe, il contient aussi des principes très nutritifs, mais aussi une substance diastasique capable de provoquer la fermentation de la farine. Les gruaux sont généralement repulvérisés et blutés et fournissent des farines un peu moins blanches que la fleur, mais plus nutritives. La farine contient de l'eau, du *gluten*, de l'amidon et diverses substances grasses, sucrées, minérales, dans la proportion moyenne indiquée à l'article *amidonneries*.

**Mouture.** — Le blé subit d'abord un nettoyage soigné destiné à le débarrasser des particules terreuses qui souillent sa surface ; on y parvient au moyen d'appareils très variés dits *épiérreurs*, dont le principe commun est d'animer les grains d'un mouvement de trépidation qui les fait frotter les uns contre les autres et désagrège les impuretés adhérentes ; on enlève ensuite celles-ci par une ventilation énergique effectuée au moyen d'un aspirateur-refouleur d'air appelé *tarare*.

Le blé est ainsi prêt pour la *mouture*, qui s'effectuait exclusivement autrefois, et s'effectue encore souvent dans les campagnes, au moyen de deux *meules* en pierre siliceuse très dure (meulière), ayant la forme de cylindres de grand diamètre et d'assez faible hauteur ; l'une est fixe (meule dormante) et horizontale, tandis que l'autre, horizontale aussi, est placée à une très faible distance de la précédente et peut tourner autour d'un axe vertical (meule *courante*). Une *trémie*, placée à la partie supérieure de l'axe de rotation, reçoit le grain qui coule ensuite centralement par des orifices ménagés dans le voisinage de l'axe de la meule courante, et arrive ainsi dans l'intervalle compris entre les deux meules ; pris entre ces deux surfaces rapprochées dont l'une est fixe et l'autre mobile, le grain est broyé et pulvérisé et la poudre qui en résulte s'échappe par la périphérie, où elle est recueillie. Cette opération l'a assez fortement échauffée ; on la refroidit et on la dirige vers le *blutoir*, sorte de tamis en gaze de soie, à plusieurs compartiments, correspondant chacun à un degré déterminé de finesse de la maille. Dans les campagnes, ce blutoir a la forme d'un prisme incliné et rotatif dont la surface latérale est garnie de gaze ; la boulangé entre à son intérieur par une extrémité, chemine en descendant et abandonne successivement ses parties de diverses grosseurs dans des compartiments séparés ; le son ressort par l'autre extrémité.

Dans les grandes installations connues sous le nom de *minoteries*, la mouture s'effectue, non par le procédé des meules qui mélange tout dans la farine, mais par celui des *cylindres* (méthode *hongroise*), qui désagrège le grain en

duits, ce qui permet d'obtenir une farine très belle et très blanche ; le grain passe d'abord entre deux cylindres métalliques cannelés, pas très serrés, qui ne font que fendre le grain suivant sa longueur, et séparer l'embryon, lequel pourrait être une cause de fermentation ultérieure ; la matière concassée passe ensuite dans un *blutoir*, puis entre deux cylindres plus rapprochés et un deuxième blutoir qui sépare des gruaux ; vient encore une série de paires de cylindres encore plus serrés, et de blutoirs intercalés, et ainsi de suite. La matière soumise à ce traitement ne s'échauffe pas sensiblement et n'a pas besoin de passer au refroidisseur.

L'ancien blutoir polygonal et rotatif tend de plus en plus à être abandonné et cède la place au *plansichter*, grand tamis plat formant le fond d'une caisse fermée, de faible hauteur, et animée d'un mouvement complexe de va-et-vient circulaire engendré par le jeu d'un excentrique et tout à fait analogue à celui qu'on imprime à un tamis tenu à la main. La boulangerie arrive à la partie supérieure, par de longs tuyaux flexibles, circule dans les divers compartiments, tout en tournant sur elle-même, se sépare, se blute, suivant la finesse des mailles, et les éléments séparés sortent par un système de tuyaux souples abouchés au-dessous du plansichter ; cet appareil produit un travail bien supérieur à celui du simple blutoir.

**Boulangerie.** — Chacun sait que le pain se prépare au moyen d'une pâte, faite avec de la farine et de l'eau additionnée d'un peu de sel, soumise ensuite à la cuisson. Mais le produit obtenu dans de telles conditions ne serait du goût de personne, il serait fade, compact et indigeste : ce serait du pain *azyme*.

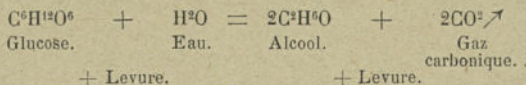
Pour donner au pain le goût et la porosité requis, il est nécessaire d'ajouter à la pâte, avant cuisson, certaines matières telles que le *levain* ou la *levure*. Pour comprendre le rôle de ces ingrédients, il faut entrer dans quelques détails relatifs aux *fermentations*.

**Fermentations.** — Une fermentation est un travail chimique généralement corrélatif des fonctions vitales d'êtres microscopiques appelés *microbes* ou *ferments figurés*. A vrai



dire, ceux-ci n'agissent pas par eux-mêmes, mais par le jeu de certaines substances qu'ils excrètent, appelées *ferments solubles* ou *enzymes*. Certains de ces microbes jouent un rôle utile, d'autres un rôle néfaste en engendrant des maladies; on les appelle alors microbes pathogènes et leurs produits d'excrétion, poisons redoutables pour l'organisme, prennent le nom de *toxines*.

Revenons aux bons microbes. Parmi ceux-ci signalons un certain nombre de champignons monocellulaires, microscopiques bien entendu, connus sous le nom de *levures*: levure de bière, levure de panification, etc. Si nous délayons dans l'eau un peu de levure de bière et que nous en étalions une toute petite goutte sous l'objectif du microscope, nous constatons la présence d'un nombre énorme de petits corps ovoïdes guère plus gros qu'un millième de millimètre et invisibles à l'œil nu individuellement; les pains de levure de bière, ceux de levure de panification, sont constitués par l'agglomération de milliards et de milliards de tels petits corpuscules. Ceux-ci, placés au sein de l'eau sucrée ou du glucose, ne tardent pas à bourgeonner, à se multiplier et, en même temps, à transformer le glucose en alcool et en gaz carbonique. La réaction fondamentale de la *fermentation* dite *alcoolique* s'exprime donc par l'équation chimique <sup>1</sup>:



D'autres microbes sont appelés *bactéries*; certaines de celles-ci transforment le glucose en corps acides, tels que les acides lactique, acétique, etc.

Ayant ainsi éclairci la notion de levure, passons à celle du *levain*. Cette matière n'est pas autre chose qu'un restant de pâte provenant d'une opération de la veille et abandonnée jusqu'au lendemain dans un endroit tiède. Si on l'examine au

1. Voir plus loin, compléments sur ce sujet, au § IV, *Vins, bières et cidres*.

microscope, on la trouve formée par les granules farineux d'amidon et de gluten, mélangés à un nombre considérable de microbes, parmi lesquels dominent les levures et les bactéries acidifiantes dont nous avons parlé tout à l'heure. Ces microorganismes constituent, à eux seuls, le principe actif du levain.

Nous pouvons maintenant comprendre les diverses phases de la fabrication du pain ; celle-ci comprend les deux opérations principales suivantes : préparation de la pâte, ou *apprêt*, puis *cuisson*.

1<sup>o</sup> *Apprêt*. — On travaille sur *levain* ou sur *levure*. La farine étant placée dans une sorte de grand coffre bas et allongé appelé *pétrin*, l'ouvrier boulanger, ou *gindre*, procède au *frassage* ; il pratique un creux avec la main et ajoute peu à peu de l'eau, du sel et du levain <sup>1</sup> (préalablement mélangé et étendu avec de la pâte) ; il opère progressivement en malaxant continuellement, pétrissant comme l'on dit, de façon à obtenir une pâte bien homogène où l'eau, le sel, le levain soient bien uniformément répartis. De temps à autre, il soulève la pâte et la laisse retomber pour l'*aérer*, afin de faciliter la multiplication de la levure <sup>2</sup>.

Ce travail est extrêmement pénible et, on peut le dire hardiment, tant soit peu malpropre et antihygiénique, aussi bien pour l'ouvrier que pour le consommateur. Nous ne pouvons mieux faire, sous ce rapport, que de nous appuyer sur l'opinion d'un chimiste éminent, Payen, qui disait déjà en 1852, en s'adressant à ses collègues de l'Académie des sciences :

« Un jour viendra sans doute où nos descendants qui liront la technologie du XIX<sup>e</sup> siècle, se demanderont si réellement, à cette époque de progrès industriel, on préparait le premier de nos aliments par le travail grossier dont nous sommes témoins, en plongeant les bras dans la pâte, la soulevant et la rejetant avec des efforts tels qu'ils épuisent l'énergie des gindres demi-nus et font ruisseler la sueur dans la substance alimentaire.... Espérons que le temps est peu éloigné où les nombreux essais entrepris depuis plus de

1. Proportions approximatives : farine 90 kilogrammes, eau 50 litres, sel 1 kilogr. 1.

2. Voir plus loin, fermentation alcoolique, au § IV, vins, etc.



soixante ans se résumeront en un procédé pratique qui améliorera définitivement l'état de choses dans toutes les boulangeries. »

Soixante années se sont écoulées depuis cette époque où Payen préconisait le pétrissage mécanique ; et le public est encore obligé, le plus souvent, de manger le pain apprêté à la sueur de l'ouvrier... et celui-ci obscurantiste, routinier et rétrograde méconnaît les prescriptions les plus impérieuses de l'hygiène et de la propreté ; le lavage des mains n'est pas son fait et la corporation est atteinte de tuberculose dans la proportion des deux tiers de ses membres !

Le pétrissage mécanique s'impose donc dans un avenir rapproché ; il a déjà fait de rapides progrès depuis quelques années et est pratiqué en Angleterre, en Allemagne, en Belgique, en Suisse et dans le Nord de la France. La figure 262 représente un des nombreux systèmes qui ont été proposés. Celui-ci se compose d'un pétrin dans lequel se meuvent deux palettes qui pétrissent la pâte ; une cage métallique qui entoure le mécanisme, de façon à éviter tout accident, ne peut être soulevée tant que le pétrin est en marche.

On peut aussi travailler *sur levure* ; c'est d'autant plus facile maintenant que de grands établissements se sont montés pour fabriquer spécialement un ferment qui répond parfaitement aux besoins de la panification <sup>1</sup>. La nécessité s'en faisait d'autant plus sentir que les progrès de la législation du travail ne permettaient plus au patron boulanger, comme autrefois, d'exiger que l'ouvrier, après avoir travaillé toute la nuit revînt plusieurs fois dans le jour pour travailler son levain ; celui-ci en aurait souffert jadis, mais aujourd'hui il suffit de donner un coup de fouet à son activité en le mélangeant à une dose déterminée de levure de panification. En résumé, on travaille donc sur levain et sur levure, par une association des deux procédés.

La masse est ensuite divisée en pâtons et ceux-ci placés dans des corbeilles appelées *panetons*. On abandonne le tout dans le *fournil*, généralement à température assez élevée ; et, au besoin,

1. Voir plus loin § IV, après la bière, fabrication de la levure.



on recouvre les pâtons avec des couvertures de laine ; peu à peu, la matière se gonfle, s'élève dans le paneton, par suite d'un

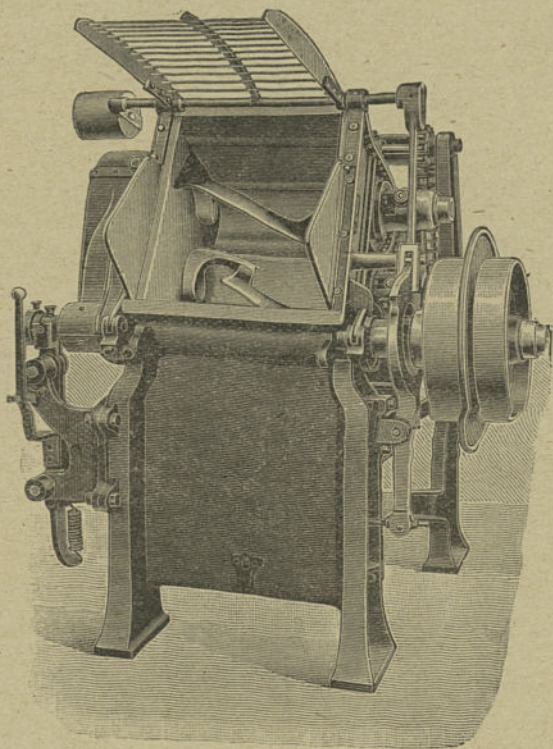


Fig. 262. — Pétrin Borbeck, à deux bras hélicoïdaux et couvercle protecteur.

dégagement intérieur de gaz carbonique et de vapeurs diverses : on dit alors que la pâte est *levée*, ou qu'elle a *son apprêt*.

Cette production interne de gaz et de vapeurs provient de la *fermentation panaire*, phénomène complexe non entièrement éclairci,

mais qui est au moins composé des deux suivants : 1° une fermentation alcoolique, avec production de gaz carbonique, qui soulève la pâte, et d'alcool qui y reste imprégné ; avant la fermentation, la pâte renferme du sucre ; après, elle contient de l'alcool et du gaz  $\text{CO}_2$  ; ce soulèvement donne la *légèreté* à la pâte. — 2° La pâte renferme de nombreuses bactéries qui accompagnent la levure et sont les agents d'acidification du pain ; celui-ci est, en effet, dix fois plus acide que la pâte ; il y a surtout des acides *lactique*, acétique, butyrique, qui communiquent au pain une saveur agréable.

2° **Cuisson.** — Elle s'effectue le plus souvent, encore actuellement, dans des sortes de fours à réverbère, à marche intermittente, sur la sole desquels on dépose d'abord une charge de bois de bouleau qu'on allume ensuite. La combustion de ce bois porte les parois du four à une température de 300° environ, on enlève alors le résidu charbonneux ou *braise*, on nettoie la sole et on enfourne les pâtons au moyen d'une sorte de pelle en bois à très long manche ; puis on ferme le four et on y laisse les pains deux à trois quarts d'heure.

Il existe aussi des fours à marche continue, parcourus par de l'air chaud ayant circulé dans un système de tubes en contact avec un foyer indépendant de la sole (fours aérothermes) ; dans ce cas, on peut alors utiliser comme combustible la houille ou le coke.

Les effets principaux de la cuisson sont les suivants. Par suite du rayonnement calorifique des parois du four, l'extérieur du pain se trouve porté à une température voisine de 200° et son amidon transformé en empois, puis en dextrine plus ou moins caramélisée formant la *crouûte*. Quant à l'intérieur, la température n'y monte que lentement ; au début, elle est d'abord inférieure à 40° et les divers ferments figurés continuent à agir ; au-dessus de cette température, ils cessent leur œuvre ; puis l'eau, l'alcool se vaporisent et gonflent les cavités où s'est déjà logé l'acide carbonique ; quoi qu'il en soit, les expériences entreprises à ce sujet ont montré que l'intérieur du pain ne dépasse jamais la température de 100°, si même il l'atteint, surtout dans les gros pains dits *boulots* : dans ces conditions, il est certain que l'agent de la tuberculose, le bacille de Koch-

n'est pas détruit. Une partie de l'amidon passe à l'état d'empois et forme la *mie*. Par le refroidissement, la vapeur d'eau se condense dans les cavités, tandis que le gaz carbonique s'échappe peu à peu au dehors par diffusion. L'expérience montre que la panification sur *levain* donne un pain plus acide que celui préparé sur *levure* et, par suite, moins fade; elle montre aussi que le *rendement en pain* est d'autant plus élevé que la proportion de gluten contenue dans la farine est plus considérable. Le pain frais contient environ 30 pour 100 d'eau; aussi 100 kilogrammes de farine fournissent approximativement 133 kilogrammes en pains de quatre livres, de sorte que, malgré les déchets de la mouture, 100 kilogrammes de blé donnent 100 kilogrammes de pain.

**Pâtes alimentaires.** — Ce sont des produits préparés soit avec une matière amylacée, soit avec de la farine, avec ou sans eau, *sans levain ni levure*.

**Pâtes amylacées.** — La principale est le *tapioca*, qui n'est pas autre chose que de la fécule de *manioc*, extraite de cette plante par des procédés analogues à ceux qui donnent la fécule de pomme de terre; elle est délayée ensuite avec un peu d'eau, divisée en petits fragments par le moyen d'une passoire, et enfin portée à la température de 120°. On mélange parfois au tapioca une certaine quantité de fécule de pomme de terre.

**Pâtes de farine ou au gluten.** — Le blutage qui suit la mouture du blé, donne, comme nous l'avons dit, des *farines premières*, servant à faire le pain de choix et des *gruaux*; parmi ceux-ci, les *gros* sont remoulus et reblutés, donnant ainsi les farines secondes, troisièmes, etc.; les *moyens* ne sont pas autre chose que la *semoule* du commerce et les *fins* servent, concurremment avec la farine, à la fabrication des *pâtes* proprement dites: *macaroni*, *vermicelle*, *nouilles*, etc. A cet effet, le gruau fin, déjà riche en gluten, est au besoin additionné de farine et même de gluten supplémentaire provenant résiduellement de l'extraction de l'amidon; on ajoute de l'eau et, parfois aussi, certains colorants tels que le safran, ainsi que des œufs et du beurre. La pâte est pétrie longuement, à bras ou mécaniquement, comme pour la préparation du pain, avec cette diffé-



rence que l'on n'ajoute ni levain, ni levure, elle est alors prête pour la transformation qui va suivre.

**Macaroni.** — La pâte est introduite dans une *presse à filière* (fig. 263), composée d'un cylindre chauffé dans lequel un piston peut descendre en forçant la pâte à sortir par des orifices annulaires; on obtient ainsi les *tubes* bien connus; ceux-ci viennent se *lover*, c'est à-dire se disposer en spirale sur un plateau tournant placé en dessous; un courant d'air froid et sec les saisit aussitôt et les amène à un degré convenable de consistance; on les coupe périodiquement à la longueur voulue et on sèche ensuite dans une étuve à circulation d'air renouvelé.

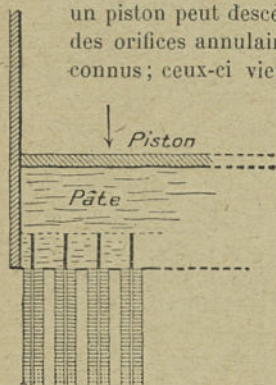


Fig. 263. — Fabrication du macaroni; presse à filière.

**Vermicelle.** — Procédé de préparation analogue au précédent; les orifices de la filière sont seulement plus petits et non annulaires.

**Nouilles, étoiles, lettres.** — Obtenues de même, par passage à travers des orifices de forme spéciale et découpage à longueur convenable.

— Obtenues de même, par passage à travers des orifices de forme spéciale et découpage à longueur convenable.

**REMARQUE.** — La fabrication de ces pâtes alimentaires a été commencée autrefois en Italie avec des blés durs, riches en gluten, d'où le nom de *pâtes d'Italie* qu'on donne encore quelquefois à ces produits; mais en France nous obtenons maintenant des pâtes tout aussi bonnes (Clermont-Ferrand, Paris, Lyon, etc.). Remarquons encore la supériorité, au point de vue nutritif, des pâtes à gluten sur celles, genre tapioca, qui n'en contiennent pas.

Le *biscuit de mer* est un pain sec, non salé, fabriqué avec une farine de blé dur, peu levé, très cuit, de façon à en assurer la conservation.

Les *biscuits de table* sont obtenus avec des œufs battus additionnés de sucre en poudre, d'aromates et de fleur de farine ou de fécule.

**Statistiques. — Notions économiques.** — La production mondiale annuelle du blé est d'environ 1.000 millions d'hectolitres, pesant 75 à 80 kilogrammes chacun. La Russie, les Etats-Unis, la France avec 120 millions d'hectolitres, les Indes anglaises, etc., sont les principaux pays producteurs. En France, on moissonne à partir de *messidor* (du lat. *messis*, moisson), dixième mois du calendrier républicain, finissant le 20 juillet, jusqu'au commencement de *thermidor*, à des époques variant suivant la latitude.

Le blé vaut environ 27 à 28 francs les 100 kilogrammes et la farine une dizaine de francs plus cher. Le Russe, qui produit beaucoup de blé, peut en exporter parce qu'il n'en consomme que 60 kilogrammes annuellement; l'Allemand, l'Autrichien ont besoin de 100 à 110 kilogrammes; l'Américain du Nord, le Français et le Suisse, 200 à 210; le Belge, 230, etc.

## II. — BEURRE. — FROMAGES. — CONSERVES ALIMENTAIRES.

### Beurre.

**Lait.** — Le lait le plus employé dans la consommation générale est celui de la vache. La France produit de ce liquide une quantité énorme allant de 80 à 90 millions d'hectolitres annuellement, quantité supérieure à celle du vin lui-même. Avant de passer en revue les applications du lait, il est nécessaire d'en étudier sommairement la composition et les propriétés. A l'état frais, c'est un liquide légèrement *alcalin*, car il ramène au bleu une petite bande de papier de tournesol rougi; examiné au microscope, il a l'aspect d'un fluide transparent au sein duquel flottent un nombre considérable de très petits globules de matière grasse, ou *crème* (fig. 264); une telle dissémination de corpuscules dans un liquide s'appelle une *émulsion*; elle ne serait stable que si les globules possédaient exactement la même *densité* que le liquide au sein duquel ils flottent; ce n'est pas



le cas ; aussi, le lait abandonné à lui-même dans un endroit frais, pendant une demi-journée, se sépare-t-il en deux couches superposées (fig. 265) : à la partie supérieure on trouve une couche *a*, moins dense, qui est la *crème* constituée par la montée



Fig. 264. — Goutte de lait vue au microscope.

des globules gras ; au-dessous, une colonne *b* qui est le lait sans crème ou lait écrémé. Ce dernier, grâce à son alcalinité, tient en dissolution une substance azotée appelée *caséine*, qui sert à faire les fromages ; pour précipiter cette matière (fig. 266) ; il suffit d'ajouter au liquide soit un *acide*, soit de la *présure* extraite de l'estomac des jeunes veaux. Le lait, débarrassé de la crème et de la caséine, devient le *petit-lait*, duquel on peut encore extraire une matière sucrée, le *lactose*, et des substances minérales telles que le phosphate de calcium, des sels de potassium, etc. Sur 1000 grammes de lait, on peut compter en moyenne 830 grammes d'eau, 30 à 60 grammes de crème, autant de caséine, autant de sucre et une dizaine de grammes au plus de matières minérales.

Le lait est un des liquides les plus facilement altérables que l'on connaisse ; il *tourne* par coagulation de sa caséine, sous l'influence du développement de certains microbes ; tel le ferment *lactique*, qui transforme le lactose du lait en acide lactique, d'où un affaiblissement de l'alcalinité du liquide, ce qui amène l'insolubilisation de la caséine et l'apparition de celle-ci sous forme de grumeaux caillés ; un bacille, le *tyrothrix*, produit un effet analogue. Tous ces microbes n'élisent domicile et ne se développent dans le lait qu'à partir du moment où celui-ci sort de la vache ; ils sont apportés par l'air et les corps voisins,



plus ou moins malpropres : le pis de la bête, les mains qui le tiennent, les vases où on reçoit le lait, etc.

**Beurre.** — Pour faire du beurre, il faut *baratter* la crème, c'est-à-dire l'agiter violemment, de manière à souder les globules gras les uns aux autres. Les opérations fondamentales sont donc l'*écrémage* et le *barattage*, auxquelles il y a lieu d'ajouter divers soins accessoires tels que la *maturation* et le *malaxage*.

1<sup>o</sup> **Ecrémage du lait.** — Cette opération peut s'effectuer de deux façons. Autrefois, et encore très souvent aujourd'hui dans le fond des campagnes, on abandonnait le lait à lui-même pendant une demi-journée, la nuit par exemple, dans un endroit frais : la crème montait alors lentement et formait une couche qu'on enlevait, le matin, avec une cuiller.

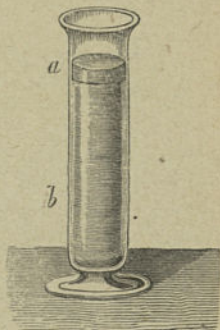


Fig. 265. — Formation de la crème.

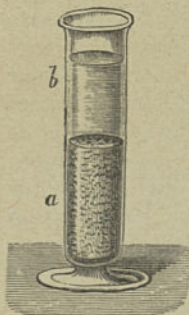


Fig. 266. — Précipitation de la caséine.

Cette méthode lente est généralement remplacée maintenant par un procédé de *séparation rapide*, en utilisant les effets de la force centrifuge qui tend, dans un corps en rotation rapide, à éloigner ses diverses parties de l'axe avec d'autant plus d'intensité que la masse ou la densité de ces parties est plus considérable. Il existe un grand nombre d'*écrémeuses centrifuges* ; la figure 267 indique schématiquement la disposition de la partie principale de cet appareil, le *bol cloisonné* animé d'un mouvement très rapide de rotation autour de son axe. Le lait arrive centralement, circule entre les cloisons et se sépare en lait écrémé, qui gagne la périphérie, et en crème, moins dense, qui se réunit plus près de l'axe ; des tuyaux évacuent chacun de ces liquides à l'extérieur.

2<sup>o</sup> **Maturation.** — Si l'on barattait immédiatement la crème, aussitôt après sa sortie de l'écrémeuse, on n'obtiendrait qu'un beurre fade et sans arôme, tandis que le barattage peut se faire de suite, aussitôt après qu'on a recueilli la crème montée *lente-*

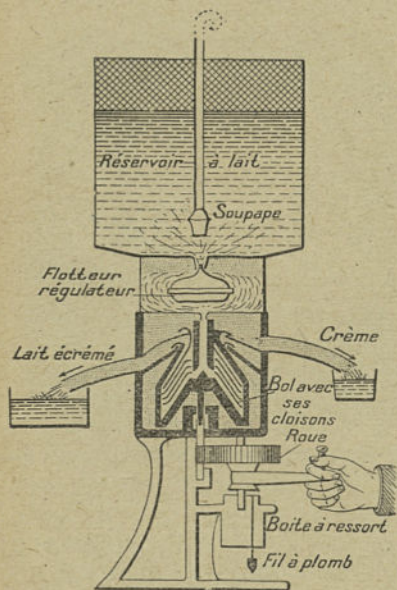


Fig. 267. — Schéma d'une écrémeuse centrifuge mue à la main.

ment par le procédé antique. Cela tient à ce que le goût de noisette, si apprécié, que possède le bon beurre, résulte d'un travail microbien qui demande un certain temps pour s'effectuer; cette *maturation* est due à l'action du *ferment lactique*, microbe qui, avons-nous dit, transforme le sucre de lait, ou lactose, en acide lactique. On comprend alors que ce travail intérieur a eu tout le temps de s'accomplir dans le cas de la montée lente, tandis qu'il n'est qu'à peine commencé au sortir de l'écrémeuse centrifuge. On voit donc dans ce dernier cas, la

nécessité de la maturation; pour rendre celle-ci régulière et plus active, on ensemece même amplement la crème avec des ferments lactiques purs, sélectionnés, cultivés dans des laboratoires spéciaux très florissants au Danemark; de cette façon le microbe utile, en nombre dans la matière, se développe largement en prenant le pas sur les autres ferments inutiles ou nuisibles.

3<sup>o</sup> **Barattage.** — Il s'effectue à la température de 15 à 17<sup>o</sup> environ, qui est la plus favorable pour l'agglutination des glo-

bules crémeux par le choc les uns contre les autres. Autrefois on opérait dans un récipient vertical conique dans lequel on pouvait faire monter ou descendre un disque en bois adapté à l'extrémité d'une tige. Aujourd'hui on emploie plus commodément une baratte rotative (fig. 268) à l'intérieur de laquelle peuvent tourner des agitateurs mis en mouvement par une manivelle.

4<sup>o</sup> Malaxage. — Si l'on veut que le beurre puisse se conserver quelque temps sans s'altérer, il est de toute nécessité de le dépouiller parfaitement des ferments qu'il contient. Pour cela, on commence

par enlever le liquide aqueux, ou *babeurre*, qu'a mis en liberté l'opération précédente ; on parachève cette expulsion par un

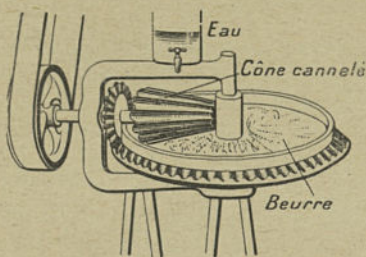


Fig. 269. — Malaxeur pour le beurre.

placé à faible distance du plateau et mis, lui aussi, en mouvement de rotation ; le beurre est obligé de passer dans le faible intervalle qui sépare ces deux parties de l'appareil et, en

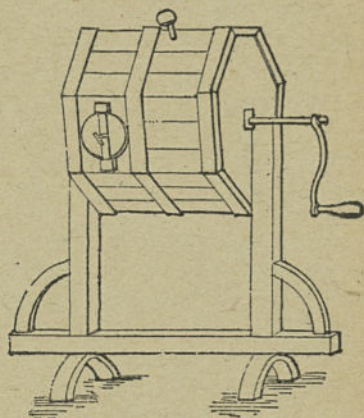


Fig. 268. — Baratte rotative Chapellier.

barattage au sein de l'eau et on termine, toujours dans le même but, par un malaxage en présence de l'eau, soit à la main, soit plus industriellement, au moyen d'une *malaxeuse* (fig. 269) ; les organes essentiels de cette machine sont un plateau rotatif, sur lequel le beurre est étalé, et un cône cannelé



se moulant dans les cannelures, subit un malaxage prolongé. On procède ensuite à la mise en *mottes* et à l'emballage.

**Altérations du beurre.** — Malgré les soins précédents, le beurre s'altère rapidement comme l'on sait et, surtout en été, *rancit* vite par suite de l'action de certains microbes qui sécrètent une substance diastatique appelée *lipase*; celle-ci a la propriété de décomposer les corps gras en mettant en liberté les acides gras et la glycérine. Ainsi donc nous aurons ici, dans le cas du beurre, apparition d'acides palmitique, oléique et, surtout, d'acides *butyrique* et *caproïque*, dont l'odeur très forte rappelle absolument celle du beurre rance.

Si l'on veut garder le beurre quelque temps, il faut donc retarder ou empêcher les fermentations ci-dessus, soit en le maintenant au *frais*, soit en le mettant à l'abri de l'air sous une couche d'eau *renouvelée*, ou bien en le *salant*, ou enfin en le *stérilisant* à chaud, c'est-à-dire en le faisant fondre et le coulant en pot où il se reprend en masse par le refroidissement; mais il faut bien avouer que ce *beurre fondu* n'a plus ni l'arome, ni la finesse, ni la consistance qu'il pouvait posséder auparavant.

## Fromages.

La partie constitutive essentielle d'un fromage quelconque est la *caséine*, obtenue par l'action de certaines substances coagulantes sur le lait: la plus universellement employée de ces substances est la *présure*, matière extraite de la *caillette* ou quatrième estomac du veau et vendue sous forme d'extrait sec ou liquide. La puissance d'action de ce liquide est telle qu'un centimètre cube peut provoquer la coagulation de 10 litres de lait; la température la plus favorable pour réaliser cette expérience est 30° à 40° environ. Une fois le *caillé* obtenu, il doit subir diverses manipulations qui l'amènent à l'état de fromage fait. Si le lait dont on est parti a été préalablement écrémé en vue de la fabrication du beurre, on n'obtient évidemment qu'un fromage *maigre*; si le lait n'a pas été dépouillé de sa crème, on

aura un fromage *gras*. Selon le mode de préparation, on distingue deux grandes catégories de fromages : les fromages *frais* et ceux qui sont *fermentés*, à pâte molle ou ferme. De toute façon, l'opération initiale, pour un fromage quelconque, est l'*emprésurage* qui a pour but de coaguler la caséine.

**Fromages frais.** — Le lait étant tiédi à 30° ou 40°, on lui ajoute la présure dans la proportion indiquée précédemment ; au bout de quelques heures, le tout se prend en masse molle et spongieuse ; on verse celle-ci dans une série de *formes* ou moules à claire-voie, en osier ou en jonc, de façon à amener la séparation de la caséine d'avec le *petit-lait* ; on interpose une toile entre le caillé et la claie, pour éviter toute perte. Ces sortes de moules, ou *cakeots*, ont souvent la forme de *cœurs* ou de cylindres plats. Après un égouttage suffisant, on obtient ce que l'on appelle le *fromage blanc* : si l'on ajoute de la crème, ou si l'on est parti d'un lait non écrémé, on a le *fromage à la crème*. Le fromage de Gournay, dit à tort *fromage suisse*, provient de lait pur surcrémé, c'est-à-dire additionné de crème.

**Fromages fermentés.** — Les uns sont à pâte molle comme le *Brie*, le *Coulommiers*, le *Camembert*, etc. ; le caillé, obtenu comme précédemment à température à peine tiède (30°) et lentement, après plusieurs heures, est flasque et ne subit ni cuisson, ni compression. Les autres, comme le *Gruyère*, le *Cantat*, le *Parmesan*, le *Hollande* sont à pâte ferme, cuite et comprimée.

1° **Fromages fermentés à pâte molle.** — Après l'*emprésurage*, pratiqué comme il a été expliqué ci-dessus, on procède à la *maturation*. Celle-ci est l'œuvre de certains microbes et s'opère en deux temps : le *sechage* ou *hâlage* et l'*affinage*, ou *maturation* proprement dite.

A) *Séchage* ou *hâlage*. — Le caillé, après avoir été *salé* et mis dans les *formes* qui doivent le contenir, est soumis à la dessiccation dans une pièce aérée, appelée *séchoir*, dont les petites fenêtres sont garnies de toile métallique afin d'empêcher les mouches de venir déposer leurs œufs sur les fromages. Ceux-ci sont alignés régulièrement sur des étagères à claire-voie afin que l'action de l'air provoque la formation de la croûte.



B) *Affinage*. — Au bout de quelques jours, les fromages sont descendus dans une cave où règnent une humidité et une température constantes; ils se couvrent alors d'un duvet blanc; les fromagers disent que les fromages *fleurissent* ou *prennent le blanc*. Cet effet est dû tout simplement au développement d'un duvet formé de l'infinité des filaments d'une moisissure appelée pénicille blanche (*penicillum album*). En même temps il se produit un commencement de fermentation ammoniacale et, grâce à l'alcalinité engendrée par celle-ci, la surface devient rouge par suite de l'apparition d'autres moisissures; les fromages *prennent le rouge*.

A l'intérieur, d'autres ferments figurés transforment le lactose du caillé en acide lactique, qui, lui-même, est repris par des moisissures, des pénicilles diverses, et amené à l'état d'acides acétique, butyrique, valérianique, etc. En même temps, la matière grasse est saponifiée et la caséine se redissout partiellement, par suite des progrès de l'alcalinité ammoniacale; la pâte tend alors à *couler*. Le fromage de Brie, de Camembert, etc., est alors *fait* et bon pour la vente.

#### 2<sup>o</sup> Fromages fermentés à pâte ferme, pressée et cuite.

— Le *Gruyère suisse* ou *Emmenthal*, le *Gruyère français* du Jura, se fabriquent de la manière suivante :

L'emprésurage se pratique sur de grandes quantités de lait à la fois, 500 litres environ, dans de vastes chaudrons suspendus au-dessus d'un foyer, en brassant continuellement et maintenant la température vers 50° à 60°. L'opération se fait rapidement, elle ne dure qu'une demi-heure et fait acquérir aux grains du caillé une certaine élasticité. Le fromager fait tourner la masse sur elle-même, au moyen de son *brassoir* agité dans le chaudron, ce qui a pour effet de rassembler le caillé au fond du récipient et permet ensuite de le recueillir d'un coup dans une forte toile; de là, on le dépose dans les *moules*, grandes cavités cylindriques très larges et de peu de hauteur. On comprime ensuite cette pâte, soit au moyen de presses spéciales, soit simplement en mettant des pierres sur le couvercle en bois, le petit-lait, ou sérum, s'écoule latéralement, les grains de caillé se soudent et l'ensemble prend la forme d'une grosse galette cylin-



drique. Ensuite, on frotte la surface de tous les pains avec du sel; celui-ci reste alors adhérent et aidera à la formation de la *croûte* en empêchant la pullulation des microbes nuisibles.

Les pains sont ensuite enfermés pendant une semaine dans une cave fraîche, puis, plusieurs mois, dans une autre cave dite *chaude*, où règne une température de 17° environ.

Les fromages de Hollande, du Cantal, le Parmesan, subissent une série de manipulations analogues. Le fromage de *Roquefort*, le *Gorgonzola*, etc., sont, comme les précédents, constitués par une pâte ferme et comprimée; mais leur maturation est plutôt analogue à celle des fromages mous et est due principalement à l'action d'une moisissure spéciale, la *pénicille glauque* (*penicillium glaucum*), que tout le monde connaît pour l'avoir vue former ces taches duveteuses et verdâtres qui se développent sur les objets exposés à l'humidité, notamment sur le pain. Pour le Roquefort, le caillé employé provient du lait de brebis; après égouttage, il est pressé à la main afin d'exprimer le petit-lait et de communiquer à la pâte la compacité voulue, puis on commence avec de la poudre de pain moisi qui apporte les spores de la pénicille glauque; c'est celle-ci qui, en se développant, produira les grandes veines verdâtres qui zèbrent l'intérieur et empêchera le pullulement des bactéries nuisibles à cette espèce de fromage.

La maturation du Roquefort s'effectue dans des caves où règne une grande fraîcheur et qui sont adossées ou creusées dans les calcaires du plateau de Larzac. La température, d'environ 8°, qui s'y maintient continuellement est éminemment favorable au mûrissement particulier de ce fromage; celui-ci est salé tous les deux jours, pendant deux semaines, et transpercé avec des aiguilles pour faciliter le développement intérieur de la moisissure. De temps en temps, des femmes, dites *cabanières*, enlèvent les moisissures parasites qui tendent à se propager à la surface. Au bout de quelques mois, le fromage est prêt pour la consommation.

Il existe encore, tant en France qu'à l'étranger, quantités d'autres fromages, mais leur préparation ne diffère pas essen-

tiellement de l'une ou de l'autre de celles qui viennent d'être exposées.

## Conserves alimentaires.

**Généralités.** — Moyennant certaines précautions, on peut conserver les denrées alimentaires : fruits, légumes, viande, lait..., pendant un temps assez long, à l'abri de toute cause d'altération; ceci permet de les retrouver ensuite avec le goût et les propriétés qu'elles avaient à l'état frais.

En quoi consiste cette altération que subissent les aliments lorsqu'on les abandonne à eux-mêmes à l'air libre? Cette modification nuisible n'est pas autre chose qu'une *putréfaction*, c'est-à-dire une fermentation produite par un certain nombre d'espèces microbiennes dont les germes sont uniquement apportés par l'air, comme l'a démontré, le premier, l'illustre Pasteur. Sous l'influence de ces germes, en nombre considérable, les éléments fondamentaux des substances organiques, carbone, hydrogène, oxygène, azote, sont libérés à l'état de combinaisons peu complexes : eau, gaz carbonique, ammoniac; il se produit aussi de l'hydrogène sulfuré, gaz d'odeur fétide, si la substance contient du soufre; de l'hydrogène phosphoré si elle renferme du phosphore.

**Procédés généraux de conservation.** — D'après ce qui précède on voit que, pour conserver indéfiniment un aliment ou une matière organique, il suffit de mettre en œuvre tout moyen quelconque de nature à s'opposer à la multiplication des microbes dans la substance. Il faut donc, si celle-ci contient déjà des germes ou des spores, ce qui est le cas général, *tuer* ces germes et mettre l'aliment à l'abri d'une nouvelle contamination, ou bien seulement *paralyser* le pouvoir de reproduction des microbes. On tue les germes et les microbes soit en les empoisonnant par l'action d'*antiseptiques*, soit en les chauffant fortement; lorsqu'une substance a eu ainsi tous ses éléments microbiens détruits, on dit qu'elle est *stérilisée*. Si l'on veut seulement paralyser, ou suspendre momentanément

l'action des microbes, on soumet la matière au *refroidissement* ou à la *dessiccation* ; dans ce cas, le retour à la température ordinaire ou à l'humidité ramène la possibilité d'altération. Voyons d'abord ces deux derniers procédés.

**Réfrigération.** — Le froid engourdit l'activité des microbes mais sans la supprimer. De grandes usines *frigorifiques* ont été installées surtout à l'étranger, aux États-Unis, en Australie, en Argentine, en Allemagne, pour congeler la viande destinée soit à être expédiée, soit à être conservée quelques jours dans les abattoirs. Pour le transport de la viande, du poisson et surtout du lait, on se sert dans certains pays de wagons aménagés en glacières ; ces denrées arrivent ainsi dans un état de conservation parfaite.

**Dessiccation.** — Les prunes, les figes, le raisin, peuvent se conserver très longtemps si l'on a soin de les priver de la plus grande partie de leur eau, par une exposition au soleil ou dans une étuve à circulation d'air sec et tiède. Dans ces conditions, toute fermentation est rendue impossible, les microbes ayant besoin d'eau pour se multiplier ; leur vie est comme suspendue, latente, mais se réveille à l'humidité.

C'est ainsi que l'on peut faire évaporer complètement du lait, en le chauffant doucement dans le vide jusqu'à ce qu'il soit réduit à un *extrait sec*, qui se conserve indéfiniment et qu'on peut mélanger à des bonbons, à du chocolat, etc.

Une forme atténuée de la dessiccation est la *concentration*, procédé applicable au lait et au bouillon. Cette opération s'effectue dans de grandes chaudières en métal où l'on fait un *vide partiel*, afin d'amener le liquide à l'ébullition à une température bien inférieure à 100° ; de cette façon, on évite le *goût de cuit* si désagréable que prennent le lait, le bouillon, les liquides sucrés, lorsqu'on les chauffe sous la pression ordinaire. En général, le lait, avant sa concentration, est additionné de 150 grammes de sucre par litre, ce qui aide à sa conservation ; une fois amené à l'état d'un liquide sirupeux, blanc, il est versé dans des boîtes en fer-blanc parfaitement bouchées. Le lait concentré est très utile aux colonies ; en addition avec le thé ou le café, il remplace parfaitement le



lait frais, lorsqu'il est bien préparé, ce qui est le cas général actuellement.

**Chauffage.** — La *stérilisation* par la chaleur est le procédé le plus efficace de conservation des substances alimentaires; c'est qu'en effet tous les microbes sont tués par le chauffage à 110° en présence de l'eau; une température de 100° amène bien la mort de la plupart des germes, mais les spores de quelques-uns cependant résistent encore à cette ébullition.

Ce procédé a été appliqué pour la première fois par le confiseur Appert, en 1811; c'est lui qui, enfermant des aliments dans des récipients hermétiquement clos qu'il chauffait ensuite, put ainsi préparer les premières *conserves* qu'on retrouvait inaltérées au bout de plusieurs années. Actuellement, les substances alimentaires sont introduites dans des boîtes en fer-blanc et portées à 110°, soit dans un autoclave sous pression, soit dans un bain d'eau saturée de sel, qui ne bout qu'à 108° environ. La boîte est ensuite fermée, le couvercle soudé, et on reporte à 140° pour détruire les germes qui auraient pu s'introduire lors du soudage; dans cette dernière chauffe, la boîte bombe sur toutes ses faces par suite de la dilatation des matières intérieures, mais, par refroidissement, elle revient à sa forme normale. Si, cependant, mise en observation pendant quelque temps, elle reprenait quelque convexité, c'est qu'une fermentation intérieure accompagnée d'un dégagement gazeux, se serait produite, indiquant par là une stérilisation incomplète; dans ce cas, la boîte serait à rejeter.

Veut-on, par exemple, fabriquer des conserves de *sardines à l'huile*, on procédera à la série des opérations suivantes, que nous énumérons rapidement dans leur ordre:

Léger salage préalable, arrachage de la tête et des intestins, lavage, dessiccation partielle à l'étuve, cuisson par immersion dans un bain d'huile bouillante, mise en boîtes de fer-blanc, remplissage de celles-ci avec de l'huile, soudage du couvercle, chauffage au bain-marie au-dessus de 100°.

Comme on le voit, c'est bien le procédé Appert appliqué à un cas spécial. On opérerait de même pour les autres poissons, thon, etc.

Une variante affaiblie du procédé ci-dessus est celle, usitée en charcuterie, qui consiste à cuire de la viande et à la renfermer dans un vase en terre, en la recouvrant d'une couche de graisse fondue qui la protège du contact direct de l'air et de l'arrivée des germes que celui-ci contient. Il y a même des denrées que l'on *enrobe* simplement, c'est-à-dire que l'on entoure complètement d'une couche imperméable qui l'isole de l'air ; ainsi les œufs sont conservés dans l'eau de chaux ou bien par recouvrement d'une couche de paraffine, d'albumine, de gélatine, etc., qui bouche les pores de la coquille ; il est évident que, dans ce cas, tout chauffage est impossible, à moins d'avoir pour but l'obtention d'*œufs durs*.

Les cerises, les abricots, les marrons, etc., peuvent aussi, avec ou sans cuisson préalable, être enrobés ou imprégnés de sucre.

**Pasteurisation.** — Une autre variante atténuée de la conservation par la chaleur est la *pasteurisation*, pratiquée pour le *lait* et le *vin*. Elle consiste à chauffer ces liquides, non à 100°, ce qui leur communiquerait un *goût de cuit* et les dépouillerait de leur arôme, mais à 70° environ. Le lait, qui est très altérable, peut ainsi se conserver suffisamment, mais guère plus de vingt-quatre heures, car il n'est pas complètement stérilisé, comme nous l'avons expliqué plus haut.

Si l'on veut donner à un nourrisson un lait absolument inoffensif, il est nécessaire de porter ce liquide à une température voisine de 100° ; celle-ci lui communiquera bien sans doute un goût de cuit, mais sans amener cependant une coloration jaune, comme

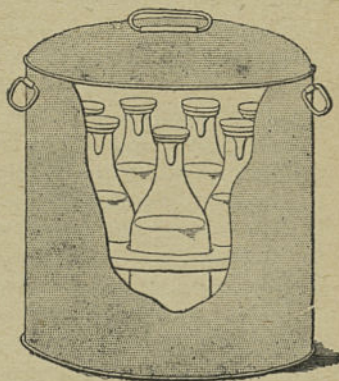


Fig. 270. — Appareil Soxhlet pour stériliser le lait.



cela a lieu au-dessus de 100°. Un appareil assez commode est celui de Soxhlet (fig. 270); c'est une sorte de bain-marie contenant de l'eau et où l'on enferme un nombre de bouteilles égal à celui dont on aura besoin dans une journée; chaque bouteille a la contenance correspondant à une tétée et est fermée par un obturateur en caoutchouc. On porte à l'ébullition pendant une quarantaine de minutes; par refroidissement, les bouchons s'appliquent fortement sur le goulot, par l'effet de la pression atmosphérique. Cet appareil ne donne pas sans doute une solution parfaite du problème de l'allaitement artificiel des nourrissons; une telle perfection n'existe peut-être même pas en dehors de l'acte naturel de la mère, mais, dans l'état actuel, une solution, même approchée, est préférable à l'absence de toute précaution.

Il existe un moyen de stériliser absolument le lait à 108°-110° sans lui faire acquérir aucun goût de cuit ni aucune coloration jaunâtre; il consiste à chauffer ce liquide en *vase clos, sous pression*, dans une chaudière argentée intérieurement; le liquide se comprime alors lui-même, par l'effet de la dilatation, sous une pression bien supérieure à la force élastique maxima de sa vapeur; c'est le procédé Kuhn.

**Antiseptiques.** — Il y a des produits chimiques tels que le phénol, l'aldéhyde formique, les acides salicylique, borique et sulfureux, le chlore, le sublimé, etc., qui sont des poisons plus ou moins violents, donc des antiseptiques efficaces, mais dont l'introduction dans les aliments est, avec raison, absolument interdite.

Il existe cependant certains corps dont l'usage est permis, soit qu'on les introduise spécialement, soit qu'ils prennent naissance par suite d'un mode particulier de travail. Citons, dans cet ordre d'idées, le sel, le vinaigre, la créosote, l'alcool, le sucre, etc. Nous allons dire quelques mots sur chacun de ces procédés.

**Salage.** — Le chlorure de sodium NaCl, ou sel commun, peut jouer, par lui-même, le rôle d'*antiseptique non vénéneux*, en même temps que celui de *déshydratant* des matières avec lesquelles on le met en contact: il attire à lui l'humidité de ces



substances, se dissout dans cette eau et forme un liquide appelé *saumure*. Soit par exemple la *morue*; aussitôt pêchée, elle est vidée, dépouillée de la tête et de la colonne vertébrale, lavée, salée, mise en tonneaux et couverte de sel; la saumure se forme et, au bout de quelques jours, on la recueille et l'on s'en sert pour laver les morues. Celles-ci sont remises ensuite en tonneaux, avec du sel, et la nouvelle saumure qui se forme est *étanchée*, c'est-à-dire enlevée. Une fois les bateaux arrivés à terre, on lave de nouveau les morues, mais à l'eau douce, et on sale de nouveau, en étanchant encore. On a ainsi la morue dite *verte*. La morue *sèche*, ou *stockfish*, subit un traitement analogue, si ce n'est qu'une fois arrivée à terre, elle est séchée à l'étuve.

Le hareng salé est obtenu à peu près comme la morue verte.

La *choucroute* se prépare en superposant dans des tonneaux des feuilles de chou et du sel et comprimant le tout au moyen de pavés placés sur le couvercle. On soutire la saumure.

Les légumes verts, les pois, les asperges, etc., peuvent être conservés en les soumettant à la *cuisson*, puis les immergeant dans un bocal bien clos rempli d'une solution saturée de sel et chauffant enfin au bain-marie.

**Conserves au vinaigre.** — Les cornichons, oignons, haricots verts, choux-fleurs, petits melons, etc., sont mis à dégorger au contact du sel; la saumure est jetée; puis on immerge dans du bon vinaigre et on ferme hermétiquement pour éviter l'évaporation et l'altération de cet acide.

**Créosote. — Fumage.** — Les matières animales, la viande de porc ou de bœuf, etc., peuvent se conserver très longtemps, sous la double influence de la dessiccation et du *fumage*, ou *boucanage*, qui agit antiseptiquement surtout par la créosote que contient la fumée. Dans ce but, les morceaux de bœuf, jambons, harengs, etc., sont suspendus dans de vastes cheminées sur le foyer desquelles on allume un feu de bois, de hêtre notamment. Le hareng *saur* n'est pas autre chose que ce poisson, d'abord salé aussitôt après la pêche, puis lavé à terre, embroché sur des baguettes et enfin fumé, ou *sauré*, pendant une semaine.

**Conserves dans l'alcool.** — Les pièces anatomiques se conservent indéfiniment dans l'alcool, mais ce procédé n'est pas usité pour la viande destinée à l'alimentation. Il n'est guère appliqué que pour la conservation de certains fruits : cerises, prunes, etc. Il s'établit un double courant de diffusion ou d'osmose : l'alcool pénètre dans le fruit, le jus de celui-ci sort et se mêle au liquide extérieur.

**Conserves dans le sucre.** — Les fruits *confits* au sucre, les *confitures*, doivent leur conservation à la présence du sucre qui les enrobe et les isole de l'air extérieur. Cette protection n'existerait plus si le sucre était étendu d'eau, car on aurait alors une solution altérable et fermentescible.

### III. — SUCRE — CONFISERIE

#### Sucre.

**Généralités.** — Le sucre provenait autrefois uniquement des pays exotiques tropicaux, où on l'extrayait de la moelle d'une graminée à tige pleine, appelée vulgairement *canne à sucre*. La culture de cette plante est loin d'être abandonnée, mais elle est concurrencée maintenant par celle de la *betterave*, qui couvre en Europe (Allemagne, Russie, France, Autriche) d'énormes étendues ou *emblavements*.

Par une série de recherches et de sélections, on est arrivé à avoir des betteraves (fig. 271) qui contiennent jusqu'à 15 et 16 pour 100 de sucre, 85 pour 100 d'eau et le restant en tissu cellulaire, matières salines et organiques.

C'est surtout le traitement de la betterave qui nous occupera particulièrement ici, vu l'importance qu'offre cette plante industrielle pour nos régions. Le sucre est *usiné* deux fois, c'est-à-dire qu'il n'est livré au commerce et à la consommation qu'après avoir passé dans deux sortes d'établissements : les *fabriques de sucre*, ou *sucreries*, qui traitent directement la betterave et produisent le *sucre brut* ; les *raffineries*, qui s'emparent de ce

dernier et lui donnent la forme marchande dite *sucre raffiné*. Comme la betterave ne pourrait être abandonnée très longtemps à elle-même sans que le sucre qu'elle contient subisse une altération, les sucreries sont obligées de travailler la plante presque au fur et à mesure de son arrachage du sol; aussi, dès la maturité, se mettent-elles en mouvement avec une activité fiévreuse et, en trois mois : octobre, novembre, décembre, leur travail est terminé; pour elles alors, la *campagne* est finie; on démonte, nettoie et vérifie les appareils, puis on ferme les portes jusqu'à la campagne prochaine.

Cette industrie est donc saisonnière et produit tout un énorme stock de *sucres blancs* ou de 1<sup>er</sup> jet, et de *sucres roux*, de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> jets, qui est pris en charge par les raffineries, établissements importants et en très petit nombre, qui travaillent toute l'année sans interruption.

La production mondiale du sucre (canne et betterave) dépasse 14 millions de tonnes; elle correspond à une valeur de 4 à 5 milliards de francs; ainsi l'île de Cuba, à elle seule, en 1908, a exporté pour plus de 400 millions de francs de sucre; les Indes néerlandaises et les îles Hawaï, à peu près autant ensemble, etc. L'Angleterre ne produit pas de sucre de betterave, mais ce sont les citoyens de ce pays qui consomment le plus de cette denrée, annuellement et par tête, 36 kilogrammes; le Danois, 30; l'Allemand et le Français, 13 à 14, etc.

Autrefois, en France, il existait sur le sucre un droit de consommation intérieure qui atteignait 67 francs les 100 kilos; il n'existe plus maintenant qu'un impôt de consommation de 25 francs et un droit de raffinage de 2 francs par quintal.

Au commencement de 1912, le prix du sucre brut blanc était d'environ 49 francs les 100 kilos, ce qui, ajouté à l'impôt de 25 francs indiqué ci-avant, donne 74 francs; le prix du raffiné



Fig. 271. — Betterave à sucre.



étant alors, à cette époque, de 82 francs, *non compris* le droit de raffinage de 2 francs, il en résultait, entre le *brut* et le *raffiné*, un écart de 8 francs environ, correspondant aux frais du raffinage et au bénéfice ; quant aux sucres roux, leur prix est environ un dixième au-dessous des sucres blancs.

Nous allons maintenant passer rapidement en revue les principales opérations de sucrerie et de raffinage. La première fabrique de sucre de betterave fut établie en Silésie, sur les indications de Achard, et la première raffinerie fut montée en France, à Passy, par Delessert, que l'empereur Napoléon I<sup>er</sup> décora de sa propre main.

### 1<sup>o</sup> Sucrerie : Extraction du sucre brut de betteraves.

**Principales opérations.** — Il faut procéder successivement : 1<sup>o</sup> au lavage et à l'épierrage des betteraves ; 2<sup>o</sup> à l'extraction du jus par les procédés de la *diffusion* ; 3<sup>o</sup> à l'épuration chimique de ces jus par la méthode de double carbonatation et de filtration ; 4<sup>o</sup> à la concentration du jus filtré, par évaporation dans l'appareil à multiple effet ; 5<sup>o</sup> à la cuite — ou cuisson — du sirop précédent, jusqu'à apparition de cristallisation ; 6<sup>o</sup> à la séparation, par turbinage, des cristaux précédents de l'excès de sirop qui les baigne.

1<sup>o</sup> **Lavage et épierrage.** — Lorsque la betterave vient d'être arrachée, sa surface retient, par adhérence, quantité de terre glaise et de pierres, dont il faut la débarrasser ; dans ce but, les wagonnets qui amènent les racines sont déversés, au ras du sol, dans un *débourbeur* (fig. 272), sorte d'auge contenant un arbre muni de palettes disposées en hélice. De l'eau chaude, provenant du nettoyage des *diffuseurs* <sup>1</sup>, arrive dans l'auge à l'extrémité opposée à celle où l'on jette les betteraves ; celles-ci sont entraînées par la rotation des palettes et au fur et

1. Voir ci-après.

à mesure qu'elles cheminent, se nettoient de mieux en mieux en rencontrant de l'eau de plus en plus propre ; c'est donc un véritable *lavage méthodique*. Les racines, prises ensuite par une vis d'Archimède, sont versées sur un *trembleur* à progression où elles subissent l'action d'un jet de vapeur, qui les sèche. Un *élévateur à godets* les prend ensuite et les amène dans un coupe-racine qui les découpe en petites cosses ou *cossettes*.

## 2<sup>o</sup> Extraction du jus par diffusion.

— Autrefois, les betteraves étaient *trâpées* ; leurs cellules étaient ainsi déchirées et l'on obtenait une *pulpe*, mélange du parenchyme, ou enveloppes cellulaires, et du contenu de ces cellules, c'est-à-dire l'eau tenant en dissolution le sucre et les matières salines et organiques ; on *comprimait* ensuite cette pulpe, ce qui donnait un jus suéré très impur, très altérable et difficile à purifier.

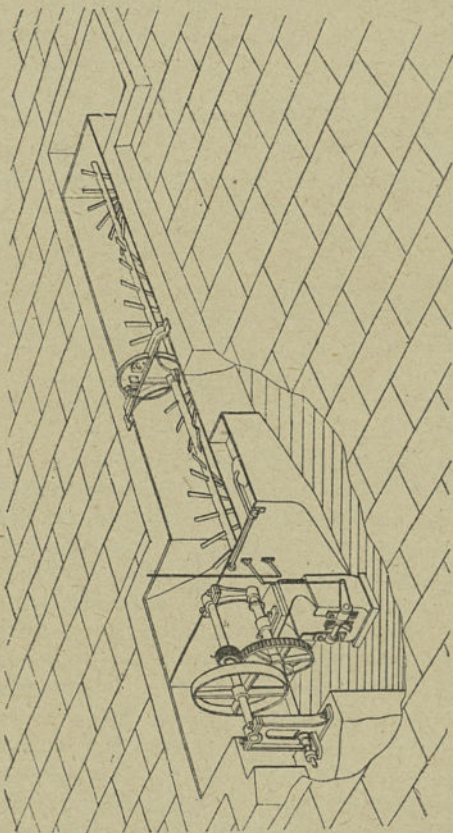


Fig. 272. — Laveur à ailettes en hélice, pour les betteraves.

Ce système est complètement abandonné et on lui a substitué l'extraction par *diffusion* dont voici le principe expérimental. Mettons de l'eau sucrée albumineuse (eau sucrée additionnée d'un blanc d'œuf battu) dans un vase V (fig. 273), sans fond,

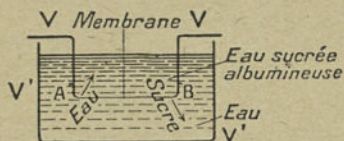


Fig. 273. — Principe de la diffusion ou osmose.

fermé par une membrane AB de parchemin, fortement ligaturée sur les bords; faisons plonger ce vase dans un autre récipient V', plus grand, contenant de l'eau pure, et abandonnons le tout à lui-même. Si, au bout de quelque temps, on

goûte l'eau extérieure, celle de V', on la trouve sucrée; si on en chauffe une petite quantité, dans un tube de verre, elle ne se trouble pas, ce qui montre qu'elle ne contient pas d'albumine. Ainsi donc, la membrane a laissé passer le sucre qui est un *cristalloïde*, c'est-à-dire une substance cristallisable, mais elle a arrêté l'albumine, substance *colloïdale* ou non cristallisable. On donne le nom de *diffusion*, ou *osmose*, à ce passage des corps cristalloïdes à travers une membrane baignée des deux côtés par un liquide capable de dissoudre ce cristalloïde; l'expérience montre, et des considérations de symétrie permettent de prévoir, que le mouvement d'osmose s'arrêtera de lui-même lorsque la concentration en sucre de chacun des liquides sera la *même* de part et d'autre de la membrane. On aperçoit immédiatement l'intérêt que présente ce phénomène, relativement au sujet qui nous occupe, l'extraction du sucre; en effet, si nous considérons l'une quelconque des nombreuses cellules dont l'agglomération constitue la chair de la betterave, et si nous l'entourons d'eau pure, cette cellule se trouve exactement dans les conditions de l'appareil précédent (appelé *dyaliseur*); une *partie* du sucre intérieur à la cellule traversera l'enveloppe de celle-ci et passera dans le milieu extérieur, tandis que les matières albuminoïdes seront arrêtées; il faut remarquer aussi que, non seulement le sucre, mais encore les matières salines diffuseront à travers la cellule.



Les meilleures conditions de rapidité d'épuisement de la betterave seraient évidemment réalisées si l'on pouvait isoler individuellement toutes les cellules et les faire baigner dans l'eau. Ce cas limite ne pouvant être atteint, on tâche de s'en rapprocher en découpant la racine en petites tranches ou *cossettes*.

Il ne suffit pas d'enlever le sucre, il faut atteindre ce but le plus économiquement possible, donc avec le *minimum d'eau*, de façon à ne pas être forcé, finalement, d'évaporer une trop grande masse liquide. C'est alors ici qu'intervient la *diffusion méthodique* qui consiste à subdiviser l'épuisement en un certain nombre d'opérations partielles successives de façon à mettre les cossettes neuves d'abord en contact avec un liquide déjà riche en sucre puis, au fur et à mesure qu'elles s'épuisent, en présence de liquides de plus en plus pauvres et, finalement, d'eau pure. On arrive ainsi, avec une quantité d'eau limitée, à épuiser les betteraves bien plus efficacement que si on les avait traitées d'un seul coup avec la masse totale de liquide employé.

Pour appliquer cette méthode, les cossettes sont découpées suivant une section en forme de V au moyen d'un rabot dont le fer est dentelé comme l'indique la figure 274. Elles sont ensuite soumises à la diffusion dans de grands cylindres verticaux appelés *diffuseurs*, au nombre de 12, 14 ou 16, réunis en batterie dans une même

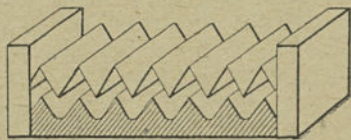


Fig. 274. — Rabot pour découper la betterave en cossettes.

salle, les uns à côté des autres (fig. 275). Comme l'osmose est plus rapide à chaud qu'à froid, on intercale entre les diffuseurs un nombre égal d'appareils appelés *caloriseurs*, chauffés chacun à une température déterminée par un système de tubes où circule de la vapeur. Appelons  $D_1, D_2, \dots, D_{11}, D_{12}$ , les diffuseurs;  $D_1$  étant supposé rempli avec des cossettes fraîches,  $D_2, D_3, \dots, D_{12}$  avec des cossettes de moins en moins riches, ayant subi des

épuisements successifs,  $D_{12}$  est *meiché*, c'est-à-dire rempli d'eau chaude pure,  $D_{11}$  est meiché avec le liquide ayant agi pré-

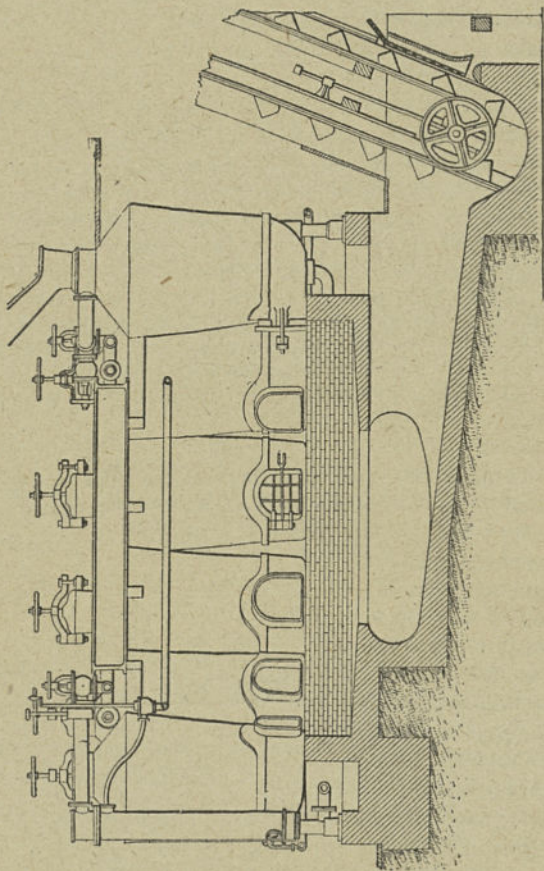


Fig. 275. — Batterie de diffusion.

cédemment en  $D_{12}$ ,  $D_{10}$  avec celui de  $D_{11}$ , etc.,  $D_1$  avec  $D_2$ .

Au bout d'un temps suffisant, on interrompt l'action ; on vide  $D_1$  de son liquide riche et on envoie celui-ci au traitement

d'usine ; on meiche  $D_1$  avec  $D_2$ ,  $D_2$  avec  $D_3, \dots, D_{11}$  avec  $D_{12}$ .

On vide  $D_{12}$  de ses cossettes épuisées, celles-ci tombent dans la cuve maçonnée que l'on aperçoit dans le bas de la figure 275 ; elles passent de là, par le jeu d'une vis d'Archimède, dans une auge, visible à droite, où elles sont reprises par une drague qui les conduit aux presses à cossettes, lesquelles en extraient l'eau sucrée et laissent comme résidu une matière, appelée *drèche* de sucrerie, donnée en pâture aux bestiaux, mais sans grande valeur alimentaire.

Le diffuseur  $D_{12}$ , maintenant vide, est alors rempli de cossettes fraîches et va jouer dorénavant le premier rôle, celui qui était tenu par  $D_1$ , c'est-à-dire que, tout à l'heure,  $D_1$  meichera  $D_{12}$ ,  $D_2$  meichera  $D_1$ , etc., et  $D_{11}$  aura le dernier rôle, pour prendre à son tour le premier, à la troisième reprise et ainsi de suite. Tel est le principe de tout *épuisement méthodique* en général.

Dans la batterie de diffuseurs, organisée comme il vient d'être dit, la marche de chaque appareil est *discontinue*, puisqu'elle est interrompue périodiquement et correspond à un numéro d'ordre variable à chaque reprise. On a cherché à créer un appareil à *marche continue* ; il en existe des modèles dans lesquels les cossettes, entraînées par une hélice, progressent dans un sens tandis que l'eau chemine en sens inverse.

3<sup>o</sup> **Épuration chimique. — Double carbonatation et filtration.** — Le jus qui vient des diffuseurs n'est pas seulement de l'eau sucrée ; il contient, en outre, divers sels minéraux à réaction acide, ainsi qu'une certaine quantité de matières azotées et albumineuses très altérables provenant des cellules dont les parois ont été inévitablement déchirées par le coupe-racines. Ce liquide étant très fermentescible, doit être déféqué, c'est-à-dire purifié ; on y arrive par addition de 2 pour 100 d'un lait de chaux et chauffage vers 75 à 80°, ce qui a pour effet de coaguler les albuminoïdes, de neutraliser les acides et, par suite, d'empêcher l'*interversion* ultérieure du sucre, c'est-à-dire son dédoublement en deux glucoses qui n'ont ni la même saveur sucrée ni la même valeur marchande.

Mais l'addition de chaux a non seulement pour effet de pré-



cipiter les impuretés mais encore de provoquer la formation d'une combinaison particulière, le *sucrate de chaux*, qui constituerait une perte en sucre si on ne la décomposait au fur et à mesure de son apparition; on y parvient en injectant, dans le liquide, un courant de gaz carbonique qui décompose le sucrate, forme du calcaire insoluble, qui se dépose, et remet le sucre en liberté et en solution.

En résumé, l'usine a constamment besoin de chaux et de gaz carbonique; il est donc tout indiqué qu'elle fabrique elle-même ces substances en installant à proximité un véritable *four à chaux*, en relation à sa partie supérieure, avec une tuyauterie qui permet de recueillir le gaz carbonique et de le purifier par lavage.

La défécation à la chaux et la carbonatation consécutive s'effectuent dans des cuves en forte tôle dans lesquelles serpentent des tuyaux à circulation de vapeur pour le chauffage: ce sont les cuves dites à *carbonatation*.

On laisse ensuite reposer le liquide; s'il y a un peu de chaux en excès, les impuretés se déposent rapidement; on décante le liquide clair et on soumet le dépôt des impuretés à une filtration sous pression pour en extraire le liquide sucré qui les imprègne. Cette extraction s'effectue dans des appareils classiques dénommés *filtres-presses*, composés d'un certain nombre d'éléments tous semblables; chacun de ceux-ci est une armature

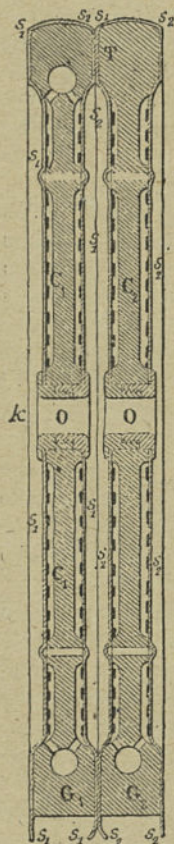


Fig. 276. — Coupe de deux éléments contigus d'un filtre-presse.

métallique carrée, peu épaisse, percée d'un trou cylindrique central O (fig. 276) et à flancs légèrement concaves garnis

d'une plaque perforée sur laquelle on applique un tissu  $S_1 S_1$ ,  $S_2 S_2$  qui l'encapuchonne, sauf dans le voisinage du trou central. Un certain nombre de ces éléments filtrants sont jux-

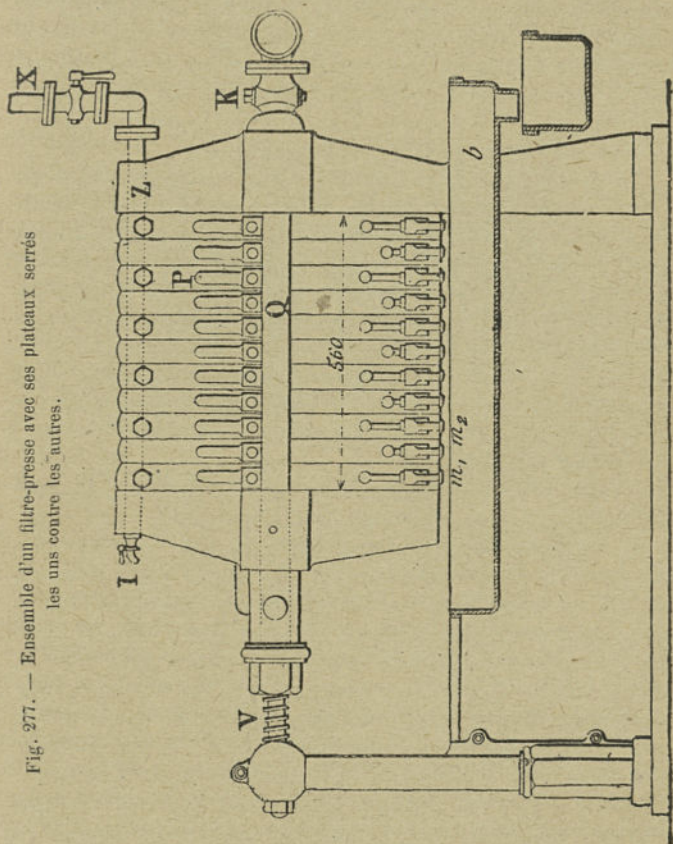


Fig. 277. — Ensemble d'un filtre-presse avec ses plateaux serrés les uns contre les autres.

tapés et fortement serrés les uns contre les autres au moyen d'une vis V de pression (fig. 277). Les boues fluides à filtrer arrivent par un conduit X et, par le canal axial formé par

l'ensemble des trous centraux O, se répand entre les éléments filtrants ; les parties solides sont retenues à l'extérieur de l'étoffe, le liquide passe à travers, pénètre à l'intérieur des éléments et s'écoule par les ajutages  $M_1$ ,  $M_2$  ..... dans une rigole. La pression de la vis V a seulement pour effet d'appliquer les capuchons filtrants sur les armatures et, en les serrant aux joints, d'empêcher les fuites ; la pression qui détermine la filtration a son siège ailleurs ; elle est produite par le *forcement* de la pompe de refoulement des boues fluides.

**Deuxième carbonatation.** — Le jus clair précédent est additionné seulement de 1 pour 100 de lait de chaux, chauffé et recarbonaté ; on chauffe ensuite à l'ébullition pour chasser l'excès de gaz carbonique ; on laisse reposer et on décante.

Le jus ainsi obtenu est ensuite clarifié par *filtration mécanique* sur *tissus*, c'est-à-dire qu'on le fait passer à travers des sacs en toile ou en coton maintenus à distance par un treillis en toile métallique ; le jus abandonne ses particules insolubles sur la face externe, car il progresse du dehors au dedans (fig. 281, filtre Philippe), et il s'écoule par des orifices placés à la partie supérieure.

L'ancienne filtration sur noir en grains, après la deuxième carbonatation, est abandonnée depuis longtemps.

**4<sup>e</sup> Évaporation et concentration du jus.** — **Formation du sirop.** — Pour extraire le sucre du liquide filtré précédent, on le porte à une température telle que la plus grande partie de l'eau s'évapore et que le liquide restant arrive à *saturation*, à partir de laquelle le refroidissement amène la formation de cristaux de sucre. Cette opération serait extrêmement simple avec une substance saline ordinaire ; mais ici, elle se complique du fait de la tendance à la décomposition, à la caramélisation, que manifeste le sucre quand on le chauffe un peu fortement. On obvie à cet inconvénient en évaporant les liquides sucrés dans le *vide*, ce qui permet d'abaisser notablement la température d'ébullition. L'élimination de l'eau se fait en deux opérations. Dans une première phase, ou *concentration*, le liquide est réduit jusqu'à la moitié environ de son volume primitif et est ainsi transformé en sirop. Dans une deuxième opération, ce



sirop est amené à saturation jusqu'à l'apparition des cristaux : c'est la *cuite en grains* du sirop.

La concentration s'effectue progressivement dans une série de chaudières au-dessus desquelles on fait un vide de plus en plus poussé et dans lesquelles le jus passe successivement ; il y est soumis à une pression d'autant plus faible qu'il a déjà atteint une concentration plus avancée. Ces chaudières commu-

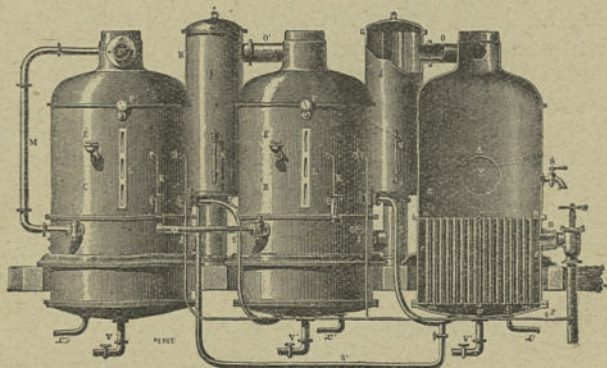


Fig. 278. — Appareil dit « à triple effet » pour la concentration des jus sucrés.

niquent entre elles par un jeu de tuyaux à robinets et sont au nombre minimum de trois, auquel cas l'ensemble prend le nom d'appareil à *triple-effet* (fig. 278) ; il existe d'ailleurs très souvent des *quadruple-effet* et même des *quintuple-effet*. La partie inférieure de ces chaudières est garnie d'un système de tubes verticaux dans lesquels circule le jus ; le chauffage se fait à la vapeur, celle-ci circulant extérieurement aux tubes ; ainsi les tubes de la première chaudière A sont chauffés par la vapeur d'échappement du moteur ; vapeur qui vient en H et s'en retourne par x. Sous l'influence de cette chaleur, le jus contenu dans les tubes de A entre en ébullition et les vapeurs émises servent à chauffer les tubes de la deuxième chaudière B ; pour cela, les vapeurs de A traversent d'abord un manchon A', appelé *vase de*

*sûreté*, destiné à arrêter les gouttelettes liquides entraînées, circulent ensuite autour des tubes de B et s'échappent enfin par  $x'$  qui est en relation avec un appareil d'aspiration grâce auquel est réalisé ainsi dans A le degré de vide nécessaire, environ un cinquième d'atmosphère; vide qui permet une ébullition à la température de  $96^{\circ}$ ; le jus qui était entré à  $5^{\circ}$  Baumé, en ressort à  $10^{\circ}$  Baumé et passe alors dans les tubes de la chaudière B où, comme on l'a dit, il est chauffé par la vapeur venant de A; les vapeurs émises par B se dégagent par le conduit O', abandonnent leurs gouttelettes liquides dans le *vase de sûreté* B', viennent circuler autour des tubes de la chaudière C et sont aspirées par  $x''$  en relation avec un appareil qui abaisse la pression à une demi-atmosphère et permet de réaliser en B une ébullition à la température de  $82^{\circ}$ ; aussi, le liquide de B, entré à  $10^{\circ}$  Baumé, en ressort à  $17^{\circ}$  Baumé. Ce liquide passe ensuite dans les tubes de la chaudière C, où comme on vient de le dire, il est chauffé par la vapeur de B; les vapeurs de C sont aspirées par un appareil qui abaisse la pression à un septième d'atmosphère environ et permet une ébullition à la température de  $54^{\circ}$ ; aussi, le jus, entré en C à  $17^{\circ}$  Baumé, en ressort à  $25^{\circ}$  Baumé, soit à l'état de sirop.

Ces concentrations successives ont eu pour effet de précipiter, au sein du liquide, une certaine quantité de matières minérales et organiques que l'on élimine par une filtration mécanique sur tissus. Mais auparavant, le jus est soumis, dans un grand nombre d'usines, à l'action du gaz sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) produit par la combustion du soufre, jusqu'à disparition de l'alcalinité; il en résulte une purification et une décoloration du liquide qui remplacent l'ancien traitement au noir animal.

**5<sup>o</sup> Cuite en grains. — Naissance des cristaux.** — Comme son nom l'indique, cette opération est destinée à concentrer le sirop jusqu'à la saturation, de telle façon que des cristaux de sucre se forment au sein de la masse. On se sert, dans ce but, d'une grande chaudière contenant un système de trois serpentins *a, b, c*, superposés (fig. 279) et indépendants, destinés à recevoir la vapeur de chauffe. La partie supérieure de la chaudière est mise en relation avec une pompe d'aspi-

ration et un condenseur à injection d'eau froide qui permettent de réaliser un vide avancé. Ceci posé, l'ouvrier chargé de la conduite de l'appareil à cuire fait arriver du sirop à 25° Baumé provenant du triple-effet et couvre le serpentín inférieur C, puis il envoie de la vapeur dans celui-ci ; au moyen des appareils de commande qu'il a sous la main, il règle la température et le degré de vide de manière à amener le sirop à l'ébullition ; s'il se produit des mousses trop abondantes, il les abat en introduisant un peu de beurre par le godet G ; il pousse ainsi la concentration jusqu'à 40 à 42° Baumé.

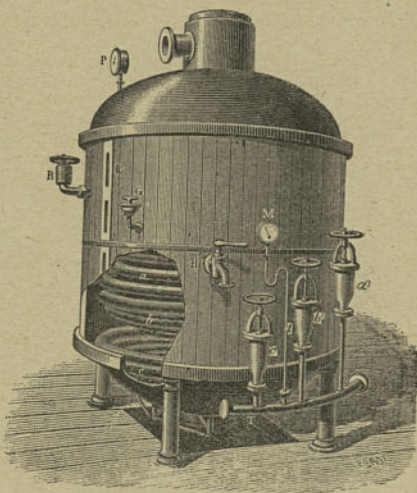


Fig. 279. — Chaudière pour la « cuite en grains », dans le vide.

Injectant alors une petite quantité de sirop, il en résulte un refroidissement subit qui provoque l'apparition d'un grand nombre de petits cristaux de sucre qu'on laisse un peu grossir. On couvre ensuite de sirop le second serpentín et l'on maintient la température par une arrivée réglée de vapeur dans ce tube. On procède de même en couvrant le troisième et dernier serpentín et on s'arrange à réaliser une sorte d'équilibre entre l'arrivée du sirop dilué qui tend à dissoudre les cristaux déjà formés et celle de la vapeur de chauffe, nécessaire à la concentration, mais qui trop abondante, tendrait elle aussi à résorber les cristaux. En résumé, la cuite en grains est une opération très délicate, qui demande une grande habitude ; elle est terminée quand, à travers les



*fenêtres* de glace L qui sont ménagées dans la paroi de la chaudière, on aperçoit de nombreux cristaux baignant dans le sirop. On reconnaît en outre le moment favorable à la cessation par la preuve *au filet* et au *crochet* : une *sonde* permet de prélever une petite quantité de sirop qu'on dépose entre deux doigts ; en écartant ceux-ci, le liquide se sépare en formant un crochet. On *casse* alors le vide, on ouvre la soupape inférieure et on laisse la *masse cuite*, de consistance pâteuse et grenue, tomber dans un *bac cristalliseur* où les cristaux achèvent de grossir en se nourrissant aux dépens du sirop saturé environnant ; on favorise cet accroissement en communiquant à la masse un mouvement lent, qui permet d'obtenir des cristaux

plus gros, bien détachés les uns des autres. Cette *cristallisation en mouvement* est terminée au bout de quelques jours ; toutes les impuretés salines ou colorées sont, en majeure partie, contenues dans le sirop impur qui les baigne.

#### 6° Turbinage. —

Il s'agit maintenant de séparer les cristaux précédents de l'excès de sirop qui les baigne. On y arrive par l'action de la force centrifuge dont nous avons déjà indiqué les effets à propos des effets à propos des écrémeuses de laiterie.

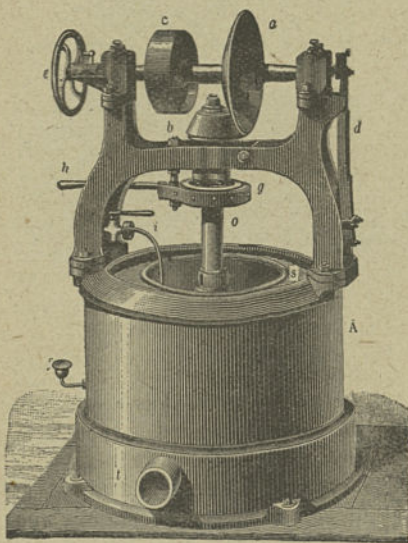


Fig. 280. — Turbine pour le traitement des masses cuites par la force centrifuge.

L'appareil employé en sucrerie est une *turbine* (fig. 280) ; l'organe essentiel est un panier cylindrique dont la surface latérale est formée par une

toile métallique à mailles fines. Ce panier peut être mis en mouvement de rotation très rapide (1200 à 1500 tours par minute) autour d'un axe vertical *o*, commandé par un système de cônes à friction *a, b*; un frein à collier *g*, muni d'un levier de manœuvre *h*, permet d'arrêter la turbine, après *débrayage* des cônes *a, b* au moyen du volant *e*. Le panier tourne à l'intérieur d'un bac cylindrique *A* muni d'un orifice d'écoulement ou égout *t*. La masse cuite et cristallisée, préalablement malaxée pour la désagréger, est versée dans la turbine en mouvement; elle gagne immédiatement la périphérie, les cristaux sont arrêtés par la toile métallique qui laisse passer, au contraire, la partie fluide. On verse une petite quantité de sirop pur saturé, ou *clairce*, pour achever de nettoyer la surface des cristaux qui, par eux-mêmes, sont blancs; enfin on termine en faisant arriver par le tuyau *i* un jet de vapeur sèche qui entraîne les dernières traces de sirop adhérent. On arrête la turbine et l'on recueille ainsi le *sucre blanc du premier jet*, qui est très pur et qui pourrait être consommé sous cette forme si l'usage en était établi.

**Traitement des bas produits.** — Le sirop impur et coloré qui filtre à travers la toile métallique, dans l'opération précédente, et qui s'écoule par l'orifice *t* est appelé *égout de premier jet*; comme il est très riche en sucre, on cherche à récupérer une grande partie de cette matière en envoyant cet égout dans un appareil à cuire en grains; lorsque l'épreuve au *filet* est satisfaisante, on coule la masse dans de grands réservoirs en tôle très profonds, appelés *bacs d'empli*, placés dans un local où la température est maintenue dans le voisinage de 40 à 45°; la cristallisation s'achève lentement et n'est guère terminée qu'au bout de quatre à cinq semaines, parce qu'elle est gênée par la quantité considérable de matières étrangères accumulées dans le sirop. On soumet ensuite la masse pâteuse au turbinage, qui la sépare en *sucre roux clair de deuxième jet*, titrant environ 93 pour 100 de sucre, et en un *égout de deuxième jet* qu'on fait repasser, lui aussi, à la cuisson et qui, abandonné ensuite dans les emplis, exige plusieurs mois pour cristalliser; après turbinage, on en retire le *sucre roux foncé de troisième*

*jet* et l'*égout de troisième jet*, ou *mélasse* de sucrerie, qui contient bien encore près de la moitié de son poids de sucre, mais qu'on ne peut pas retirer *économiquement* à cause de la trop forte proportion de matières salines avec laquelle il est mélangé. Le seul débouché actuel de ces mélasses est celui que lui offrent les distilleries pour les transformer en alcool.

**Sucre de canne.** — Les cannes à sucre sont broyées par passage entre plusieurs cylindres tournant en sens contraires ; le jus qui s'en écoule, ou *vésou*, est soumis ensuite à la défécation par la chaux en petite quantité. Après repos, le liquide décanté subit une série de traitements analogues à ceux qui viennent d'être décrits pour le sucre de betterave.

On tend maintenant à abandonner l'antique broyage des cannes et à lui substituer le procédé plus moderne de la diffusion.

## 2° Raffinage du sucre brut.

**Généralités.** — Les sucres blancs de premier jet, tels que les livre la sucrerie, constituent déjà par eux-mêmes une matière suffisamment pure pour pouvoir entrer directement dans la consommation ; c'est d'ailleurs ce que font certaines industries telles que celles du chocolat, des confitures, de la confiserie, etc., qui n'emploient pas d'autre produit. Mais la consommation domestique est plus exigeante, elle réclame une matière encore plus pure, d'un aspect plus agréable ou plus conforme à ses habitudes. C'est ce qui explique qu'une grande quantité de sucre blanc premier jet est soumise à l'opération du raffinage, ainsi, bien entendu, que les *sucres roux*, deuxième et troisième jets.

Le principe général du raffinage est celui qui est commun à tous les procédés de purification usités dans les laboratoires et dans l'industrie : la dissolution dans l'eau et la recristallisation par concentration, avec épuration conjointe des liqueurs. Les sucres bruts sont donc d'abord dissous dans le moins d'eau possible (*fonte et clarification*), puis la solution sirupeuse est



*filtrée et décolorée*, ensuite *cuite* jusqu'à *crystallisation*, et enfin la masse cristallisée est séparée et blanchie par *turbinage et clairçage*.

Nous supposerons, dans ce qui va suivre, qu'on applique les procédés modernes du raffinage, comme cela a lieu dans divers établissements, tels que les Raffineries Say à Paris, Sailly à Tergnier, etc. En conséquence, nous laisserons d'abord de côté les sucres roux qui doivent recevoir un *affinage* préalable, pour nous occuper d'abord des sucres blancs.

**Fonte et clarification.** — Les sucres blancs sont dissous dans de l'eau contenue dans une chaudière dont le bord, par raison de commodité, arrive au ras du sol; on facilite la dissolution en chauffant le liquide au moyen de vapeur circulant autour de la chaudière; ceci permet d'obtenir tout de suite un sirop assez concentré marquant 33 à 35° Baumé, soit un vrai *sirop*.

Ce liquide coloré est ensuite dirigé dans une autre chaudière et *clarifié* par addition de noir animal en poudre fine et d'une petite quantité d'un lait de chaux. On chauffe presque à l'ébullition, ce qui amène la coagulation des matières albumineuses et la formation d'une écume qu'on enlève au fur et à mesure. Après un instant de repos, on réitère ce chauffage et on élimine la nouvelle écume qui surnage. Le liquide trouble est ensuite tamisé par passage à travers des filtres en coton, tels que ceux du système Philippe (fig. 281) dont nous avons déjà parlé antérieurement en sucrerie; le trajet a lieu de l'extérieur à l'intérieur, le liquide clarifié coule dans la rigole B.

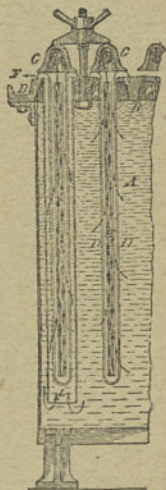


Fig. 281. — Filtre Philippe.

**Décoloration.** — Le sirop précédent, quoique clarifié, garde une couleur jaune dont il faut le dépouiller; on y arrive en le faisant passer à travers une longue colonne remplie de noir

animal en *grains* ; celui-ci est contenu dans des cylindres en tôle de 7 mètres de hauteur et de 1 mètre environ de diamètre, connus sous le nom de *filtres à noir* (fig. 282) ; le sirop arrive

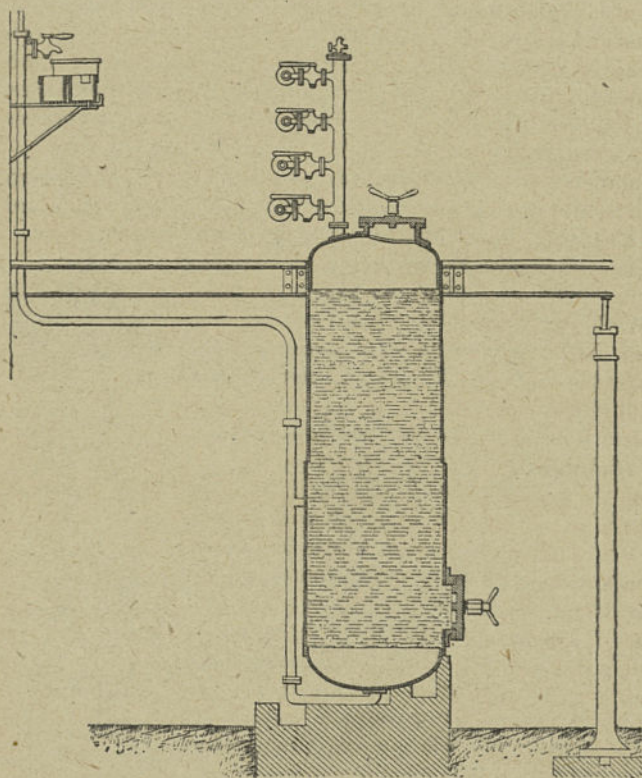


Fig. 282. — Filtre à noir animal pour la décoloration du sirop de sucre.

par la partie supérieure et ressort par un ajutage inférieur qui le conduit dans diverses rigoles appropriées, selon la pureté du produit. Les premières portions qui ont filtré sur du noir neuf sont bien décolorées et constituent la *belle clairce* ou *clairce*

*fine* ; on obtient aussi celle-ci en partant des plus beaux sucres bruts blancs. Cette clairce fine servira à laver, à claircer les *plaquettes*, comme nous le verrons tout à l'heure. Ensuite, on obtient la *clairce commune*, ou *clairce à cuire*, qui constitue la plus grosse portion du filtrat.

Après quelques jours d'usage, le noir animal a perdu son efficacité. On le *revivifie* en le lavant avec de l'eau chaude, pour le désucre, le séchant et le calcinant ensuite, pour détruire les matières organiques ; on termine par un blutage qui sépare la masse en grains qui retourneront aux filtres à noir, et en  *fines*  qui iront à la chaudière à fondre

**Cuisson dans le vide et cristallisation.** — La clairce commune est envoyée dans une chaudière à cuisson dans le vide analogue à celle usitée en sucrerie pour la *cuite en grains*. La masse cuite tombe de là dans un grand réchauffoir en cuivre et est ensuite coulée dans des moules ; ceux-ci étaient autrefois coniques (*pains de sucre*), mais maintenant ils ont la forme de prismes très aplatis appelés *plaquettes*, de façon à mieux se prêter au débitage en petits morceaux rectangulaires.

**Plaquettes.** — La fabrication du sucre en plaquettes s'opère par divers procédés dont le plus répandu est celui d'*Adant*.

Dans l'intervalle annulaire compris entre les deux cylindres concentriques en tôle d'une grande caisse cylindrique appelée *forme*, on dispose un certain nombre de moules, sortes de capacités prismatiques divisées radialement par des plaques de tôle galvanisée, placées à 22 millimètres de distance les unes des autres, et laissant ainsi des vides dans lesquels la masse cuite coulée formera les plaquettes. Après refroidissement et repos pendant 42 heures, la masse a acquis dans les moules une consistance assez ferme pour pouvoir supporter l'opération du turbinage ; celle-ci a pour but de débarrasser les plaquettes de l'excès de sirop qu'elles contiennent ; dans ce but, la *forme*, avec toutes les plaquettes qu'elle contient, est introduite dans une grande turbine Adant commandée *par-dessous* afin d'offrir au-dessus un espace libre pour le passage de la forme. Ayant mis la turbine en rotation, il s'écoule par l'égout un premier sirop,



appelé *sirop vert*, dont nous reparlerons tout à l'heure à propos du traitement des bas produits lorsque l'écoulement de ce sirop est terminé, on introduit dans la turbine de la *clairce* ordinaire, un peu brune, provenant d'un clairçage fin d'une opération précédente et passée ensuite au filtre Philippe : il s'écoule un égout appelé *sirop couvert*, riche et peu coloré, qui sera utilisé pour le lessivage méthodique des bas produits ou sera reversé dans la chaudière à fondre et rentrera ainsi dans le travail général ; on termine enfin le turbinage par l'addition de *clairce fine* qui parachève le lavage intérieur des plaquettes et permet d'obtenir celles-ci parfaitement blanches ; le sirop qui s'écoule pendant cette troisième phase du turbinage est la *clairce brune* dont nous avons parlé tout à l'heure et qui interviendra dans la seconde phase d'un turbinage ultérieur.

Les formes sont ensuite enlevées, les moules démontés et les plaquettes, placées sur des wagonnets, sont introduites pendant une douzaine d'heures dans des *étuves* ayant la forme de longs couloirs où circule constamment un courant d'air chaud et sec. Après dessiccation et refroidissement, les plaquettes sont ensuite envoyées à la *casserie* où des machines très ingénieuses les découpent rapidement en petits prismes rectangulaires dont les dimensions correspondent à un nombre déterminé de morceaux au demi-kilo, selon la demande du consommateur.

**Traitement des bas produits.** — Le sirop vert, expurgé dans la première phase du turbinage des plaquettes, doit être soumis à une série de traitements destinés à en extraire le sucre. Dans ce but, il est d'abord *cuit en grains* dans des chaudières analogues à celles usitées en sucrerie, d'où production d'une masse cuite qu'on abandonne à la cristallisation en mouvement dans un bac malaxeur. Arrivée à ce point, l'opération analogue de sucrerie aboutirait à un turbinage qui, ici, est inutile puisque le sucre qu'on a en vue d'obtenir doit repasser à la fonte et, par conséquent, n'a pas besoin d'être sec ; comme, néanmoins, il faut éliminer les impuretés dont la majeure partie est superficielle, on soumet la masse cuite à un *lessivage méthodique*, selon un mode opératoire dérivant par perfectionnement d'un procédé imaginé par Steffen.

A cet effet, la masse cuite est versée dans de grands bassins pouvant avoir 75 hectolitres de capacité et 1 mètre de profondeur. Ces bacs sont à double fond ; le vrai fond est plein, le faux fond est constitué par une claire-voie garnie d'une toile métallique fine. Si l'on vient à faire le vide dans l'espace compris entre les deux fonds, la mélasse, sous l'action de la pression atmosphérique, traversera la toile métallique tandis que les cristaux seront arrêtés ; ceux-ci retiennent beaucoup de mélasse colorée, adhérente superficiellement, et ne sauraient être versés en cet état dans la chaudière à fondre : on leur fait donc subir une succession de clairçages méthodiques, une demi-douzaine environ, dont le dernier est donné avec le *sirop couvert* provenant de la deuxième phase du turbinage Adant ; ce sirop est en effet, comme nous l'avons déjà fait remarquer, riche et peu coloré. Après cette série de traitements, les cristaux sont alors complètement décolorés et versés dans la chaudière à fondre avec les sucres blancs de sucrerie. Quant aux clairces successives, elles baissent méthodiquement *en grade* au fur et à mesure qu'elles ont servi à claircer des masses plus impures et, parties de la haute valeur du *sirop couvert*, elles descendent par échelons successifs, jusqu'à nature de *mélasse*.

**Traitement des sucres roux.** — Nous avons indiqué au début que l'on ne jette pas ensemble, dans la chaudière à fondre, les sucres roux avec les blancs. C'est dire que les roux doivent subir une opération préalable d'*affinage*, précédant le raffinage. La méthode employée est la même que celle qui vient d'être exposée à propos du traitement des masses cuites provenant des bas produits ; par conséquent les sucres roux sont versés dans les bacs de lessivage méthodique et on leur y fait subir une série de lavages par clairçages successifs, qui les fait monter progressivement en grade, tandis que les clairces, qui toutes doivent être quasi-saturées pour laver les cristaux sans les dissoudre, se dégradent en sens inverse et aboutissent à une mélasse : en fin de compte, celle-ci est cuite en grains, coulée dans les malaxeurs à cristallisation en mouvement, essorée à la turbine ordinaire de sucrerie ; d'où l'obtention d'un sucre coloré



qui retourne aux bacs de lessivage, et d'une mélasse de raffinerie qui est vendue.

Arrivés à ce point, nous sommes au terme du raffinage et, ayant fait rentrer dans l'usine des sucres bruts blancs et roux, nous en voyons sortir uniquement de belles plaquettes blanches de raffiné et de la mélasse noire, sans autre déchet intermédiaire.

**Sucre candi.** — Il consiste en de gros cristaux de sucre, isolés les uns des autres, ou réunis par groupes peu nombreux. On fabrique le sucre candi par la méthode générale d'obtention des gros cristaux en chimie : dissolution très concentrée et chaude abandonnée à un refroidissement extrêmement lent. On opère dans de grandes bassines en cuivre où sont tendus des fils après lesquels se forment et s'attachent les cristaux.

Dans un morceau de sucre ordinaire, les cristaux ont une forme analogue, mais sont beaucoup plus petits et disposés confusément, s'étant gênés les uns les autres mutuellement dans leur développement.

**Sucre d'orge.** — Le sucre, chauffé vers 160°, éprouve la fusion ignée, comme peuvent le faire la graisse ou le plomb ; l'addition d'une très légère quantité d'eau permet de réaliser plus sûrement le phénomène sans dommage, c'est-à-dire sans cette décomposition commençante appelée *caramélisation*, qui devient très accusée vers 200 à 220°. Si maintenant ce sucre, fondu pour ainsi dire presque sans eau, est refroidi rapidement, en le versant sur un marbre huilé, par exemple, il se solidifie avec l'aspect vitreux : c'est le *sucre d'orge*, qu'on peut aromatiser de diverses manières.

## 2° Confiserie.

**Généralités.** — Elle comprend principalement la fabrication des fruits confits et des confitures, dont nous avons déjà donné une idée antérieurement, la préparation des bonbons et dragées et celle du chocolat.

**Bonbons et dragées.** — Les bonbons cristallins,



comme les pastilles de menthe, sont obtenus au moyen de sucre en poudre additionné d'une quantité d'eau très insuffisante pour dissoudre le sucre, mais qui a pour effet de lier entre eux les petits grains et de donner à la masse une certaine fluidité consistante. On aromatise avec la menthe et on coule sur une surface froide, comme un marbre huilé.

Les bonbons fondants, les caramels, les bonbons-liqueurs, se préparent au moyen de sirops de sucre plus ou moins concentrés et parfumés, ou aromatisés. Si l'on coule le sirop dans des creux d'amidon formant moules, cette dernière substance dessèche le sirop qui cristallise alors à la surface ; les fondants sont obtenus dans ces conditions avec un sirop à 40° Baumé ; les bonbons-liqueurs avec un sirop marquant seulement 35° Baumé ; après coulage dans l'amidon, il se forme une pellicule solide de sucre à l'intérieur de laquelle se réunit la liqueur.

Les dragées s'obtiennent en mettant des amandes dans une bassine chaude (formée, par exemple d'un tube métallique contourné en spirale et parcouru par de la vapeur), puis ajoutant, par portions, du sirop de sucre à 34° Baumé et agitant la bassine d'un mouvement de rotation et de balancement, les amandes s'enrobent ainsi de sirop qui forme une couche solide à la surface. On réitère cette manœuvre plusieurs fois et on termine par une opération toute semblable, mais en ajoutant de l'amidon au sirop, pour *blanchir* la surface des dragées.

La fabrication des dragées est très prospère à Verdun, celle des fruits confits à Clermont-Ferrand ; les nougats de Montélimar sont connus de tous.

**Chocolat.** — Ce produit alimentaire, si apprécié universellement, est fabriqué au moyen de deux matières premières principales : le *cacao* et le *sucre*, additionnées généralement d'un parfum ou d'un aromate tel que la *vanille*.

Le cacaoyer croît dans les pays tropicaux, notamment dans l'Amérique centrale. Sa graine contient de l'amidon, une substance grasse appelée *beurre de cacao*, diverses matières azotées et un alcaloïde, appelé *théobromine*, dont les propriétés ont beaucoup d'analogie avec la *cafféine* du café et la *théine* du thé.

Les graines, après avoir été nettoyées et tamisées, sont *torréfiées* par circulation d'air chaud à une température comprise rigoureusement entre 180°-225° ; c'est alors que se développe, comme pour le café, l'arome spécial et délicat qui caractérise le cacao. L'enveloppe, devenue très fragile, est décortiquée par passage entre cylindres dentés, tandis qu'un courant d'air, lancé par un ventilateur, entraîne les coques et les pellicules, plus légères que les grains cassés.

La matière subit ensuite un premier broyage entre des cylindres, ou sous des meules en granit ; ce qui l'amène à l'état d'une pâte fluidifiée, à cause du beurre qu'elle contient. On réitère une deuxième, puis une troisième mouture entre des meules de plus en plus rapprochées et l'on obtient ce que l'on appelle le *cacao*.

Ce cacao est ensuite mélangé avec les deux tiers de son poids de sucre et une proportion déterminée de vanille ; on incorpore intimement toutes ces substances par le jeu des mélangeurs-malaxeurs chauffés vers 35 à 40°, point de fusion du beurre de cacao. Après une mise à l'étuve à 70° pendant deux jours et un *boudinage* destiné à extraire l'air introduit par le broyage, le chocolat, maintenant formé, est versé dans des *moules* métalliques reposant sur des sortes de trembleurs à secousses rapides appelées *tapoteuses*, qui forcent la pâte à prendre la forme du moule. On abandonne ensuite au refroidissement dans une salle parcourue par des tuyaux réfrigérants ; les tablettes se solidifient alors complètement et sont ensuite empaquetées.

#### IV. — VIN. — CIDRE. — BIÈRE

**Fermentation alcoolique.** — Avant d'exposer les procédés de fabrication des boissons alcooliques, vin, cidre, bière, il est nécessaire d'expliquer en quoi consiste la *fermentation* dont ces liquides ont été le siège. Nous allons donc revenir sur ce qui a été déjà dit sur ce sujet à l'article Boulangerie (§ I de ce chapitre), en le complétant.

La levure de bière, observée au microscope, se présente sous l'aspect de petits corps monocellulaires arrondis (fig. 283) se reproduisant par bourgeonnement. Pour bien comprendre son mode d'action, faisons l'expérience suivante. Dans un bocal B (fig. 284) versons une dissolution de *glucose* à 10 ou 13 pour 100 de concentration, et ajoutons de la levure fraîche. Si nous opérons en été, il est inutile de chauffer le liquide ; en hiver nous ferons bien, avant d'ajouter la levure, de tiédir vers 25 à 30° centigrades. Adaptons, comme le montre la figure, un tube à dégagement C se rendant sous une cloche en verre, ou éprouvette D, remplie d'eau et renversée sur une cuve pleine de ce liquide. Au bout de peu de temps, nous verrons une mousse abondante se former à la surface du liquide (aussi est-il bon de n'emplir le flacon qu'à moitié), tandis que des bulles gazeuses viendront se rendre dans l'éprouvette. Le soulèvement de la



Fig. 283. — Levure de bière.

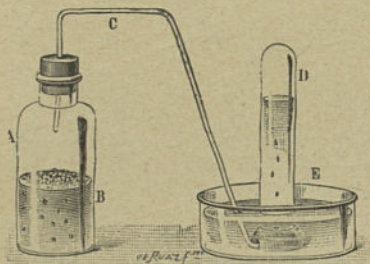


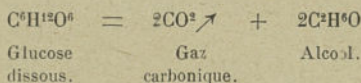
Fig. 284. — Expérience sur la fermentation alcoolique.

Etudions maintenant les corps formés dans cette expérience. Tout d'abord, il s'est dégagé du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ), le même que celui qui se forme dans la combustion du charbon à l'air libre ; pour le constater, recueillons une des éprouvettes remplies en dernier lieu (car les premières sont mélangées de l'air du flacon) et, l'ayant retournée en la maintenant bouchée, puis y introduisant une allumette enflammée, celle-ci s'éteint : un



petit animal y périt asphyxié. Voilà pour le gaz, passons maintenant au liquide ; comme celui-ci est un peu trouble, laissons-le se clarifier par le repos, ou bien filtrons-le ; prélevons-en une petite portion, nous y constaterons, par les procédés habituels de l'analyse chimique, l'absence <sup>1</sup> de glucose ; soumettons l'autre portion, plus considérable, à la distillation et recevons les vapeurs dans un réfrigérant, nous obtiendrons, par condensation, un liquide transparent ayant le goût et l'odeur de l'alcool ; et surtout, si nous soumettons ce liquide à une nouvelle distillation, nous aurons un produit très volatil et inflammable : c'est bien l'alcool ordinaire.

En résumé, il nous est bien prouvé expérimentalement qu'une solution de glucose est transformée par la levure de bière en gaz carbonique, qui se dégage, et alcool qui resté dissous dans le liquide. Ce phénomène, cette *fermentation alcoolique*, peut donc se représenter par l'équation suivante que nous avons déjà signalée à propos de la fermentation panaière :



Ceci est la réaction fondamentale, principale, de la fermentation alcoolique ; en réalité, celle-ci est accompagnée d'un certain nombre d'autres phénomènes concomitants et accessoires qui donnent lieu à la production d'un peu de *glycérine*, d'acide *succinique*, etc.

Quelles sont, maintenant, les conditions d'existence et de prospérité de la levure ? Celle-ci, comme tous les êtres vivants, a besoin d'eau et d'aliments minéraux et organiques appropriés ; il lui faut en outre une température convenable voisine de 25° (température *optima*) ; une basse température ralentit l'activité de la levure jusqu'au point de l'annuler ; une trop haute température la tue, elle est *cuite* par la chaleur comme un autre animal ou un végétal. De même qu'un animal est empoisonné par ses produits d'excrétion, la levure ne peut vivre dans un liquide

1. Presque complète.

où la proportion d'alcool atteint ou dépasse 16 pour 100, de sorte que, si ce liquide renferme du sucre ou du glucose, celui-ci reste inaltéré.

Le développement de la levure est contrarié par celui d'autres germes qui peuvent se trouver présents dans le liquide, mais il existe un moyen simple de paralyser les ferments nuisibles pour laisser le champ libre aux premiers ; c'est de communiquer au liquide une légère *acidité* : celle-ci ne gêne pas la levure, mais arrête le développement des autres microbes. Bien entendu, il ne faut pas atteindre une acidité trop forte devant laquelle les cellules de levure succomberaient à leur tour.

Une influence très importante est attribuable à l'*oxygène de l'air* ; selon que la levure est ou n'est pas en présence de cet élément, ses conditions d'existence sont totalement modifiées. C'est ce dont on peut se rendre compte en répétant l'expérience de fermentation au moyen d'une même solution de glucose additionnée de levure et dont on fera deux parts égales ; la première portion est abandonnée dans un vase plat, large et peu profond, donc subissant aisément l'action de l'air ; tandis que la seconde portion, absolument identique à la première, sera versée, soit dans un même vase *couvert et fermé* hermétiquement, soit mieux dans un récipient étroit et profond où l'air n'aura qu'un accès négligeable. Dans ces conditions, on constate que le premier vase, exposé à l'air, contient *fort peu d'alcool*, mais *beaucoup de levure*, qui s'est abondamment multipliée ; tandis que le second vase contient de l'alcool mais peu de levure si la privation d'air est complète. Il résulte de là que la vie *aérobie*, c'est-à-dire à l'air, permet surtout à la levure de se reproduire, de multiplier, tandis que la vie *anaérobie*, sans air, oblige la levure à faire de l'alcool.

En pratique, pour obtenir de l'alcool avec une quantité *limitée* de levure, il faudra donc observer en quelque sorte comme un moyen terme : aérer au début le milieu où elle se trouve, pour activer la multiplication et avoir un grand nombre de cellules ouvrières, et ensuite *fermer le vase*, ou enfoncer la levure à l'intérieur du liquide, pour la soustraire à l'action de l'oxygène et la forcer à faire de l'alcool. Une *légère acidité*



favorisera, comme on l'a déjà dit, la multiplication de la levure en la protégeant contre l'action nuisible des autres microbes.

## Vin rouge.

Le vin n'est pas autre chose que le jus de raisin fermenté. La fabrication de cette boisson comprend la suite d'opérations que voici : la vendange et la préparation du jus de raisin ou *moût*, la fermentation de ce moût d'où résulte l'obtention du vin nouveau, enfin les soins de soutirage et autres que réclame le vin nouveau jusqu'à son vieillissement définitif.

1<sup>o</sup> **Préparation du moût.** — La cueillette du raisin mûr ou *vendange*, et son transport au *cellier*, lieu de préparation du moût, s'effectuent suivant des coutumes et à des époques variées selon les contrées. Cette cueillette nécessite la mobilisation d'une petite armée de travailleurs, et les voisins se prêtent souvent, en cette circonstance, une aide mutuelle. Comme chacun sait, une *grappe* de raisin est formée par une tige ligneuse ramifiée, appelée *rafle*, dont les dernières terminaisons portent chacune un *grain* de raisin. Celui-ci est constitué par une enveloppe sphérique, la *pellicule*, enfermant la chair du fruit, ou *pulpe*, contenant elle-même des *pépins*. Toutes ces diverses parties, à l'exception de la pulpe cependant, contiennent une matière astringente, le *tanin*; la rafle renferme, en outre, diverses substances *acides*, les pépins une résine âcre et astringente. Quant à la pulpe, qui forme l'élément essentiel, elle contient trois quarts d'eau environ, un quart de *sucre* fermentescible (glucose et lévulose), ainsi qu'une petite quantité d'*acides libres*, du *bitartrate de potassium*, des substances organiques, etc., mais, comme nous l'avons déjà fait remarquer, pas de tanin. La pellicule, outre le tanin et des acides, contient encore une *matière colorante* rouge, insoluble dans l'eau froide, mais soluble dans l'eau chaude ou dans l'eau alcoolisée. La pulpe des raisins blancs est incolore, il en est de même de celle des raisins rouges, ce qui explique que le moût fourni par ceux-ci est d'abord incolore, à part cependant une légère teinte



rosée impossible à éviter, la coloration rouge n'apparaissant que par la suite, lorsque le moût devient alcoolisé et capable, par conséquent, de dissoudre le colorant contenu dans les pellicules avec lesquelles il est en contact. Indiquons, cependant, qu'il existe certains raisins dénommés *teinturiers*, dont la pulpe est colorée, la pellicule renfermant une matière rouge soluble dans l'eau froide. Ces cépages donnent alors un moût immédiatement rouge.

Le raisin, aussitôt apporté au cellier, est écrasé en vue d'en extraire le jus. Cette opération s'effectue encore, dans de nombreuses régions, par l'antique procédé du *piétinement*, comme au temps de Virgile, qui chantait ainsi, dans ses « Georgiques » (Livre second), la joie des occupations champêtres :

« J'ai chanté jusqu'ici le labourage et les astres ; maintenant c'est  
 « toi, Bacchus, que je vais chanter, et avec toi les arbrisseaux des  
 « bois et les rejetons du tardif olivier. Viens, dieu de la vigne, ici  
 « tout est plein de tes bienfaits. Pour toi nos coteaux, chargés des  
 « fruits de l'automne, étalent leurs riches parures ; pour toi la ven-  
 « dange écumante bouillonne dans nos celliers. Viens, dieu de la  
 « vigne, mets bas tes brodequins, et rougis avec moi tes jambes  
 « nues dans le jus des raisins nouveaux ».

. . . . .

Quelque pittoresque que puisse être cette façon d'opérer, elle n'en est pas moins pénible et, *ipso facto*, malpropre, presque répugnante. Comme toutes les coutumes routinières, elle se défend d'elle-même par sa simplicité, et certains paysans surenchérisent par une affirmation sans contrôle, en disant qu'elle est *meilleure* que l'écrasage mécanique (fig. 285) ; celui-ci consiste à faire passer les grappes, préalablement versées dans une trémie, à travers le faible intervalle compris entre deux cylindres cannelés tournant en sens contraires et à recevoir le produit du broyage dans une auge placée au-dessous. Il faut bien faire attention, cependant, à ce que les pépins ne soient pas écrasés, sans quoi la résine âcre qu'ils contiennent passerait dans le vin et lui communiquerait un mauvais goût ; sous ce rapport, le piétinement donne évidemment toute sécu-

rité et, de plus, permet une *aération* prolongée du moût, pendant laquelle les levures<sup>1</sup> se multiplient abondamment, de sorte que la fermentation *part* ensuite très rapidement. L'écrasage mécanique, plus satisfaisant et moins laborieux, a fait

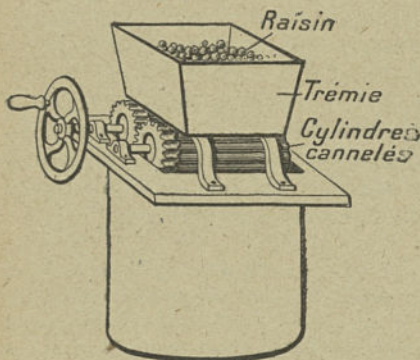


Fig. 285. — Fouloir mécanique pour écraser le raisin de vendange.

gagner du temps, ce qui explique que le jus est moins aéré; on peut employer ce temps gagné à injecter de l'air dans la masse, ou à la retourner; on peut d'ailleurs faire une chose bien simple, quelques jours avant la vendange, un *piéd de cuve*, comme cela est expliqué plus loin.

Une fois les grappes écrasées, le mé-

lange de pulpe et de rafles est versé dans une grande cuve; celle-ci est en bois, dans les petites installations, en maçonnerie ou en ciment armé dans les établissements plus importants et peut alors atteindre ou dépasser 100 hectolitres.

**2<sup>o</sup> Fermentation du moût.** — Le moût, ou liquide qui baigne les rafles, contient de l'eau, des matières sucrées, quelques substances acides, minérales et azotées, c'est-à-dire tout ce qu'il faut pour constituer un milieu éminemment fermentescible; mais il faut un ferment, une levure, où est ce petit être indispensable? Il se trouve déjà naturellement dans le liquide, car la fermentation du moût se déclare spontanément, d'elle-même, sans que la main du vigneron ait aucunement besoin d'y introduire des levures, comme cela a lieu dans la fabrication de la bière ou du pain. Effectivement, après une attente préliminaire plus ou moins longue, suivant la tempéra-

1. Nous verrons tout à l'heure d'où elles viennent.

ture ou l'aération préalable du moût, la fermentation arrive à se mettre en train, puis s'accélère et la masse entière est le siège d'un bouillonnement dénotant un travail intérieur très intense : elle semble *vivre*, en un mot, et elle vit bien en effet, c'est un spectacle toujours très curieux.

Si l'on vient à prélever une goutte du moût et à l'étaler sur une lame de verre, pour l'examiner au microscope, on constate la présence d'un certain nombre de levures les unes efficaces, les autres indifférentes ou nuisibles. Les *bonnes ouvrières* sont principalement (fig. 286) :

A) La levure elliptique (*saccharomyces ellipsoideus*), qui domine à la fin de la fermentation ;

B) La levure apiculée (*saccharomyces apiculatus*) ayant l'aspect de petits citrons, qui domine au début ;

D) La levure de Pasteur (*saccharomyces pastorianus*).

Les *mauvaises ouvrières* sont :

C) Les *torulas*, qui ne font pas d'alcool, et les *levures sauvages* qui donnent un mauvais goût au vin. On comprend, d'après cela, l'importance qu'il y a à empêcher l'envahissement du moût par les éléments perturbateurs ; c'est pourquoi l'on ajoute souvent, dans la cuve de fermentation, dix à vingt grammes d'acide sulfureux par hectolitre, au début même de la *cuvaison*, ou *cuvage* ; le départ de la fermentation s'en trouve sans doute retardé, car l'antiseptique ajouté gêne la levure, mais il gêne encore plus les germes de maladie du vin, il les tue, ou à peu près, de sorte que, plus tard, le vin se conservera beaucoup mieux inaltéré. Il ne faudrait cependant pas dépasser la mesure, aller à trente grammes par exemple car tout serait arrêté, tué, rendu *muét* ; on aurait, en un mot, pra-

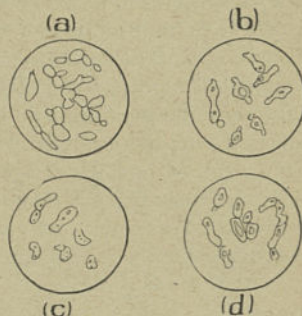


Fig. 286. — Levures du vin.

(a) *saccharomyces ellipsoideus* ; (b) *saccharomyces apiculatus* ; (c) *torulas* ; (d) *saccharomyces pastorianus*.



tiqué le *mutage*. Lorsque le produit sulfureux a rempli son rôle, il suffit d'aérer la masse, par barbotement d'air ou soulèvement, pour rendre à la bonne levure engourdie son pouvoir de prolifération; elle se trouve, en effet, plongée dans un milieu très favorable à son développement. Dans cette première période de multiplication et d'existence aérobie, elle consomme du sucre et produit du gaz carbonique mais pas d'alcool; ce gaz se dissout d'abord dans le liquide, arrive à le saturer, et se dégage ensuite sous forme de bulles; quand celles-ci sont bien visibles, volumineuses, quand la fermentation, en un mot, est *bien partie*, on modifie les conditions vitales de la levure, on lui impose une existence *anaérobie*, de façon à la forcer à faire de l'alcool; dans ce but, on cesse l'aération et il est même bon de *couvrir la cuve*: cependant on néglige souvent cette précaution, sans grand dommage, parce que le contact de l'air se trouve automatiquement empêché par la présence de la couche lourde de gaz carbonique qui s'est étalée, invisible et asphyxiante, au-dessus du moût; c'est ce qu'on peut d'ailleurs constater par une expérience simple et bien connue: une bougie s'y éteint.

Avant d'aller plus loin, répondons à une question qui s'est déjà posée intuitivement dans l'esprit du lecteur. Nous constatons bien la présence naturelle des levures dans le moût, mais enfin d'où viennent-elles? Car elles ne peuvent pas préexister dans la pulpe, à l'intérieur du grain de raisin, puisque le jus de celui-ci reste indemne de toute fermentation sur grappe. C'est *Pasteur* qui, par de mémorables et ingénieuses expériences, répétées pendant la belle saison dans sa vigne d'Arbois, dans le Jura, donna la clef de l'énigme; il prouva que les levures du vin existent sur la râfle et sur l'*extérieur* de la pellicule au moment de la maturité seulement; on n'en trouve pas avant, ni après; ce qui s'explique, en remarquant que ces levures viniques déposées sur du coton sec ou toute autre matière inerte, périssent au bout de vingt-quatre heures, elles meurent donc de faim et de soif lorsque l'air les apporte sur un bois ou une pellicule non mûre ou flétrie, ne laissant transsuder aucune nourriture pour la cellule. D'après cela, on conçoit que, lorsqu'un grain de raisin vient à être écrasé, ou simplement percé par le

bec d'un oiseau ou d'un insecte, le jus sucré intérieur se trouve mis en contact avec la levure extérieure et la fermentation se déclare, le grain prend un petit goût alcoolique ; des phénomènes analogues se produisent d'ailleurs pour d'autres fruits tels que les cerises (qui servent à faire le kirsch), les prunes (qui servent à faire le quetsche), etc.

Le dégagement tumultueux de l'acide carbonique a pour effet de soulever les rafles et les pellicules jusqu'à la surface du moût où elles forment une masse épaisse appelée *chapeau*

(fig. 287), qui entraîne une forte proportion de levures et les empêche d'agir sur le sucre intérieur ; de plus, l'alcool déjà formé dans le chapeau peut, au contact de l'air et sous l'action du *mycoderme acétique*, se transformer en *vinaigre* qui communiquerait au vin un goût acide ; il peut aussi s'y développer des ferments de maladie du vin ; pour toutes ces raisons réunies, il faut, plusieurs fois par jour, immerger le chapeau et, en même temps, le désagrèger ;

dans ce but les vignerons, nus, sautent parfois dans la cuve, en ayant soin de ne pas enfoncer la tête dans la couche invisible de gaz carbonique qui les asphyxierait, et, une fois là-dedans, se démènent le mieux qu'ils peuvent, des bras et des jambes, pour disloquer et enfoncer le chapeau : cette opération prend aussi le nom de *foulage*, comme celle qui se rapporte à la première opération subie par la grappe. Pour empêcher la montée du chapeau et son oxydation à l'air, et éviter une besogne malpropre, on a imaginé des cuves à *chapeau submergé*, dans lesquelles une claie en bois coupe le moût vers sa partie supérieure, retenant les rafles mais laissant le liquide et les gaz libres de circuler. On peut aussi, bien entendu, disloquer et enfoncer le chapeau très simplement, au moyen de perches en bois.

Au fur et à mesure que la fermentation progresse, le jus,

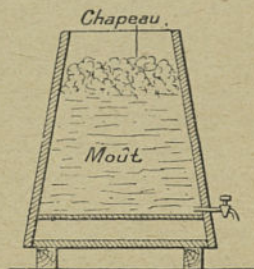


Fig. 287. — Cuve en fermentation



d'abord à peu près incolore, prend une teinte rouge de plus en plus foncée ; c'est qu'en effet la matière colorante de la pellicule devient soluble dans le moût au fur et à mesure que celui-ci s'alcoolise. En même temps, grâce aux phénomènes vitaux et chimiques dont la cuve est le siège, la température s'élève et peut même atteindre 35° ; il faut éviter un échauffement intempestif, surtout à craindre dans le midi et en Algérie, et le combattre par une réfrigération convenable sous peine de voir apparaître des fermentations nuisibles au bouquet du vin.

Peu à peu le sucre, aliment de la levure, disparaît, la *densité* du liquide décroît (c'est *l'atténuation*) par remplacement d'une matière plus dense que l'eau par une autre, l'alcool, moins dense. Bientôt la fermentation tumultueuse se calme, puis cesse, le chapeau s'enfonce de lui-même, les bulles ne viennent plus crever à la surface et l'on ne perçoit plus le bruit de bouillonnement qu'elles produisaient. Comme il peut rester encore un peu de sucre dont la transformation durerait trop longtemps, on injecte, au moyen d'une pompe une grande quantité d'air dans la cuve, afin de communiquer un regain de vitalité à la fermentation ; on réitère ce manège plusieurs fois et, lorsque tout paraît bien terminé, ce qui exige plusieurs jours et même une semaine ou plus selon la température et les pays, on peut procéder au décuvaqe.

3° **Décuvaqe, soutirage et vieillissement.** — La fermentation étant maintenant complètement terminée, il faut séparer le vin d'avec les rafles et autres parties solides et réduire au minimum le contact avec l'air qui acidifierait sûrement le vin ; on procède alors au décuvaqe : le contenu de la cuve est évacué dans de grands tonneaux appelés *foudres* disposés, cette fois, non dans un cellier, mais dans une *cave* à température constante. Ce vin, qui provient directement de la cuve, prend le nom de *vin de goutte* ; on le soustrait à l'action de l'air en *ouillant*, c'est-à-dire en maintenant le foudre complètement plein et, au besoin, en fermant la bonde au moyen d'une soupape hydraulique.

Quant au résidu solide, le chapeau, il constitue une véritable éponge imprégnée d'une quantité encore considérable de liquide



qui peut aller jusqu'à la proportion de un quart ou un cinquième de celle du vin de goutte. Pour la récupérer, on soumet les rafles à l'action d'une *presse à claies* (fig. 288) dont les parties essentielles sont un fort écrou, qui peut descendre en tournant le long d'une grosse vis verticale, et venir appuyer fortement sur des pièces de bois en dessous desquelles est emprisonnée la rafle; sous l'action de cette compression, le liquide s'écoule à travers les intervalles que laissent entre elles les *claies* disposées de manière à former une barrière cylindrique; on obtient ainsi le *vin de presse* un peu plus riche en tanin et qui est réuni au vin de goutte; ce qui reste dans la presse, après le départ du liquide, constitue le *marc* de raisin, généralement distillé pour en retirer l'*eau-de-vie de marc*, mais quelquefois arrosé d'eau, additionné d'un peu de sucre et abandonné à une nouvelle fermentation, d'où l'obtention d'une piquette ou vin de seconde cuvée, etc.

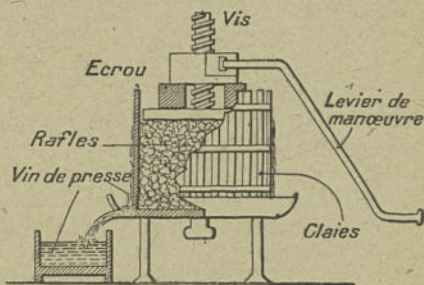


Fig. 288. — Pressoir à claies.

Comme, au moment du décuage, le vin renferme encore une petite quantité de sucre (un peu moins d'une dizaine de grammes par litre) et que l'aération produite par le transvasement a ragailardi la levure et a créé de jeunes cellules, une nouvelle fermentation, dite *secondaire*, se déclare dans les foudres; elle est lente et dure longtemps si la cave est fraîche, plus rapide si la température est élevée. Le sucre finit par disparaître totalement et le liquide, devenu tout à fait calme et inactif, laisse déposer les particules solides en suspension (c'est la *lie*) ainsi que du *bitartrate de potassium*, ou crème de tartre, bien moins soluble dans le liquide alcoolisé que dans le jus aqueux primitif du grain.

C'est alors que le vin enfin calmé, devenu en quelque sorte adulte, doit être *soutiré*, c'est-à-dire versé doucement dans des fûts stérilisés<sup>1</sup> où on le gardera au frais, où il *vieillira* en se dépouillant de l'excès de tartre et de tanin et en développant l'arome et le goût dont la réunion forme cette qualité délicate et subtile qu'on appelle le *bouquet* du vin vieux. Avant la mise en bouteilles, il sera *collé*, c'est-à-dire agité avec des blancs d'œuf battus dont l'albumine insolubilisée par l'alcool du vin formera un coagulum qui se précipitera en entraînant les impuretés et clarifiera le liquide.

**Pratiques améliorantes.** — Le bon vin n'est pas commun, car sa réussite nécessite la concomitance d'un nombre de circonstances favorables extrêmement nombreuses. Les conditions à remplir concernent, en effet, le moût d'une part, la levure d'autre part; autrement dit la matière première et l'ouvrier, et il est impossible d'obtenir un bon produit, si l'un ou l'autre de ces facteurs est défectueux, quand même l'autre serait très bon.

A) **Conditions de milieu ou de cépage.** — Un moût trop acide ne fournit qu'un vin dur, mais l'insuffisance contraire donne un vin *plat*, qui se conserve difficilement, parce que le manque d'acidité a permis le développement de nombreux microbes nuisibles, engendrant diverses *maladies du vin*, dont nous reparlerons un peu plus loin. Un vin trop peu acide, alcalin, a le plus souvent une couleur plutôt bleuâtre; on le corrige par une addition convenable d'acide tartrique ou de *plâtre* (plâtrage) qui, réagissant sur le bitartrate de potassium contenu dans le vin, donne lieu à la formation d'un précipité de tartrate de calcium insoluble, de sulfate de potassium soluble et aussi d'acide tartrique libre qui avive la couleur vers le rouge. Le plâtrage n'est pas absolument inoffensif, à cause de la production de sulfate de potassium qu'il détermine; aussi la loi interdit-elle de dépasser un plâtrage qui ferait apparaître dans le vin une quantité de sulfate de potassium supérieure à 2 grammes par litre. Il est toujours bon, avant de consommer un vin, de vérifier par l'analyse chimique si cette condition légale est remplie<sup>2</sup>; une détermination du degré alcoolique et de l'extrait sec est aussi à conseiller.

Lorsque le raisin n'est pas assez sucré, le degré alcoolique du vin

1. En y brûlant une mèche soufrée.

2. Voir *Cours de Chimie*, par P. MÉTRAL, 3<sup>e</sup> année; Masson et C<sup>ie</sup>, éditeurs.



s'en ressent et, pour relever sa valeur trop faible, certains vigneron ajoutent de l'alcool au vin ; cette pratique prend le nom de *vinage*. Il est préférable, dans ce cas, d'ajouter au *moût lui-même* avant ou pendant la fermentation, la quantité de sucre déficitaire ; dans ce but, on se sert de sucre de canne pour les grands vins de cru, de sucre de betterave pour les ordinaires.

Si la grappe est broyée trop fortement, ou bien si la rafle reste trop longtemps en contact avec le moût, dans le cas d'une fermentation languissante, ou enfin si cette grappe est trop riche en tanin, le vin prend une saveur âpre. C'est pourquoi certains vins (du Jura, par exemple), sont faits avec des raisins *égrappés*, c'est-à-dire que le moût est en contact seulement avec les pellicules ; on évite ainsi la présence d'un excès de tanin ; cependant, il ne faut pas perdre de vue que cette substance, en petite quantité, joue un rôle utile au point de vue de la conservation et de la bonification du vin, car elle arrête le développement de certains germes de maladie et elle contribue, dans une certaine mesure, au vieillissement et au développement du bouquet.

**B) Conditions relatives au ferment.** — Si la bonté du moût est de la plus haute importance, la valeur du ferment, ouvrier de ce travail délicat, n'est pas moindre dans ses effets ; on avait même cru, un moment, mais ce n'était qu'une illusion vite dissipée, à la possibilité d'obtenir un produit de choix au moyen d'un cépage médiocre, pourvu qu'on se donnât la peine de faire travailler sur celui-ci une levure de haute marque, pure et sélectionnée, choisie sur des raisins de grand cru. C'eût été peut-être possible « a priori », mais néfaste pour les producteurs de nos premières marques françaises ; cela n'est pas, mais il n'en est pas moins vrai qu'il ne faut négliger aucun des soins qui peuvent permettre à la bonne levure de prendre, dans une fermentation vinique, le pas bien franchement sur les autres espèces, sauvages inutiles ou nuisibles, qui tendraient à envahir le milieu.

Il est un cas surtout où ces soins sont tout indiqués, indispensables même ; c'est celui où la récolte se présente dans de mauvaises conditions, où beaucoup de grains sont abîmés, mal venus ou pourris et où, par conséquent, la fermentation aurait du mal à se mettre en train ; il faut alors préparer ce que l'on appelle un *piéd de cuve*, c'est-à-dire une provision préalable de bonne levure, particulièrement adaptée au vignoble considéré. Dans ce but, quelques jours avant la vendange, le vigneron avisé fait un tour dans sa vigne et y choisit quelques-unes des grappes les plus mûres ; il sépare les grains des rafles, en un mot il pratique l'égrappage, afin d'obtenir un



meilleur moût, il foule ses grains proprement, et ayant mis la matière dans une petite cuve, il la maintient à la température de 25° environ, voisine de l'optimum convenant à la levure; de plus, comme il s'agit en ce moment, non point d'avoir de l'alcool, mais le plus possible de cellules, le moût est aéré très souvent, toutes les deux heures, par exemple, de façon à amener une multiplication intense des micro-organismes; puis, quand la prolifération se ralentit, on la fait repartir par une addition de sucre. Le *piéd de cuve*, ainsi constitué, sera versé dans la grande cuve avec la vendange, il en amorcera immédiatement le départ de la fermentation.

### Vin blanc.

Le vin blanc est d'une préparation un peu plus délicate que celle du vin rouge. Il est obtenu, en général, avec des raisins blancs, complètement mûrs et débarrassés des parties avariées. Aussitôt après le foulage, on porte la vendange au pressoir, afin de séparer la pulpe d'avec la rafle. Cette pratique s'imposerait avec encore plus de force si l'on employait des raisins rouges, afin que la matière colorante de la pellicule n'ait pas le temps de se dissoudre dans le moût à la faveur d'un commencement de fermentation: cependant, même en observant cette précaution, il est difficile d'obtenir, avec les raisins rouges, un liquide qui ne présente pas une légère teinte rosée.

On ne laisse pas la fermentation commencer aussitôt après le pressurage; auparavant on procède au *débourbage*, c'est-à-dire que le moût est abandonné au repos un certain temps, pendant lequel se déposent les particules solides entraînées dans le pressurage. Mais, comme cette clarification préalable serait impossible si la fermentation avait lieu simultanément et qu'elle demande parfois un temps assez long, on entrave momentanément toute activité de la levure par un *mutage* incomplet: il suffit, pour cela, d'ajouter le moût d'un peu d'acide sulfureux ou de bisulfite de potassium, ce qui assure, en outre, un complément de décoloration. Quand le moût se trouve bien clarifié, on le transvase dans des *fûts* ou des *tonneaux*, et non

dans une *grande cuve de fermentation*, comme cela a lieu pour le vin rouge ; la raison d'être de cette façon de procéder réside dans ce fait que la fermentation du moût blanc est *très lente* ; elle dure plusieurs semaines et s'effectue à une température peu élevée qui ne doit pas dépasser 18 à 20° ; il faut donc, pendant cette longue période, soustraire le vin au contact constant de l'air qui pourrait l'acétifier, d'où la nécessité d'opérer dans des tonneaux. Le liquide ayant été séparé des rafles dès le début, on s'explique que le vin blanc contienne bien moins de tanin que le rouge ; on est même parfois obligé d'en ajouter un peu, en cas d'insuffisance notable, afin que le vin soit de *conserva*.

Une fois la fermentation terminée, on *ouille* les fûts, c'est-à-dire qu'on les remplit jusqu'à la bonde avec du moût fermenté et on laisse le vin vieillir en cave. Avant la mise en bouteilles, on le *colle* généralement avec de la gélatine qui forme, avec le tanin, un réseau insoluble qui entraîne les impuretés dans la lie. Dans le cas d'insuffisance de tanin, on peut en ajouter un peu ou coller à l'albumine.

### Maladies des vins. — Soins préventifs à leur donner. — Pasteurisation.

*Maladies des vins.* — Toutes les altérations spontanées que subissent les vins sont dues au développement de ferments, ou de micro-organismes particuliers, que décèle l'observation microscopique. Les principales de ces maladies sont :

La *fleur*, ainsi appelée parce que la surface du vin abandonné à l'air se couvre d'une pellicule blanche ; ce phénomène s'observe fréquemment dans les bouteilles entamées et abandonnées, ou à la fin d'un tonneau ; il est dû à un ferment, le *mycoderme vinique* (*Mycoderma vini*), d'existence *aérobie*, donc ayant besoin d'air, qui oxyde l'alcool et le transforme en eau et gaz carbonique. Le degré alcoolique s'abaissant, le vin devient fade ; on dit alors qu'il est *plat*.



La *piqûre*, ainsi appelée parce que le vin prend un goût de vinaigre ; c'est qu'effectivement, grâce à l'oxygène de l'air, un ferment, le *mycoderme acétique* (*Mycoderma aceti*), transforme peu à peu l'alcool en acide acétique.

Tandis que les deux maladies précédentes sont imputables à des ferments aérobies, les suivantes relèvent au contraire de l'action d'êtres *anaérobies*, donc ne pouvant se développer qu'en l'absence de l'air.

**Pousse et tourne.** — Le vin se trouble, sa couleur se fonce et son goût devient franchement piquant, aigrelet, non pas par suite d'une transformation en vinaigre, mais par la présence d'une quantité de gaz carbonique parfois si notable qu'elle fait sauter les bouchons ou rompre les fûts. Vient-on à abandonner le vin quelque temps à lui-même, ou à le secouer pour provoquer le départ du gaz, son goût aigrelet primitif fait place à une saveur plate et fade due à l'insuffisance du degré alcoolique. La pousse se produit d'autant plus facilement que la cave est moins fraîche et le vin peu acide.

**Amer ou amertume.** — Cette modification désagréable du goût se manifeste assez souvent chez les vins vieux.

**Graisse.** — Cette maladie atteint surtout les vins faibles en tanin, donc les vins blancs : ceux-ci deviennent alors comme huileux et filants ; c'est pourquoi certains vins blancs (en Champagne, par exemple) sont parfois additionnés d'une petite quantité de tanin :

**Casse brune.** — Le vin se trouble, devient couleur brique et dépose une matière brune ; il prend en même temps une saveur fade, quelquefois amère. L'agent de cette modification est un champignon, une moisissure, le *Botrytis cinerea*, qui existe sur le raisin pourri, le même qui, dans d'autres conditions, joue un rôle utile dans le développement du goût spécial du *Sauternes* et des *vins du Rhin*, qui sont faits avec des raisins blancs pourris, envahis par le mycélium cendré du *Botrytis* ; mais alors celui-ci prend le nom de *pourriture noble*.

**Soins préventifs.** — Puisque les maladies des vins sont dues à des ferments ou à des microbes, il est tout indiqué de



détruire ceux-ci par la chaleur, ou de gêner le plus possible leur développement.

Cela sera facile avec les microbes *aérobies*, tels que ceux qui provoquent la formation de la *fleur* ou de la *piqûre*, puisqu'il suffira d'empêcher absolument le contact de l'air avec le liquide ; on y arrivera en *ouillant*, c'est-à-dire en maintenant constamment le fût plein jusque sous bonde et vérifiant de temps à autre si cet état de choses se maintient ; c'est qu'en effet, par suite de diverses maladies telles que la *fleur* et la *pousse*, une partie de l'alcool est décomposée avec production de gaz carbonique qui, par sa pression, transsude à l'extérieur, d'où il résulte une diminution naturelle du volume du vin.

On peut aussi *mûter* légèrement, en brûlant une mèche soufrée, si le tonneau est en vidange et offre un espace vide suffisant.

Le *collage*, suivi d'un repos de deux semaines, et d'un *soutirage* ou d'un *filtrage* ayant pour effet de séparer le vin de la *lie*, qui renferme beaucoup de germes nuisibles, est aussi à recommander.

**Chauffage. — Pasteurisation.** — Aucun des moyens précédents n'est efficace en ce qui concerne le développement des ferments *anaérobies* ; aussi, la seule ressource consiste-elle à détruire ces germes par la chaleur, sans abîmer le vin cependant. Ce chauffage des vins a été préconisé autrefois par Pasteur, mais mal appliqué, ce qui a conduit à des déboires qu'il est facile d'éviter avec un peu d'attention. Le principe du procédé est le suivant : on chauffe le vin à 60° pendant deux minutes ; c'est en cela que consiste la *pasteurisation*, qui *prévient* ou *arrête* les maladies du vin, mais ne saurait, en aucune façon, *réparer* les désordres antérieurement causés. En tout cas, il est absolument et abondamment démontré par l'expérience, que cette pratique si simple n'altère aucunement le bouquet, la couleur, la limpidité ou la saveur du vin, surtout si l'on a soin d'attendre quelque temps avant de le consommer. S'il s'agit de vin déjà mis en bouteilles, celles-ci devront avoir leur bouchon bien assujéti par un fil de fer ou une ficelle résistante ; on les place par 6, 8 ou 10, dans un *panier* en fer,

du genre de ceux utilisés pour le transport à la main ; ce panier, ainsi garni, est plongé dans un chaudron à faux fond perforé et on remplit d'eau ; de cette façon, les bouteilles seront chauffées au bain-marie et leur fond ne subira pas de coup de feu par le contact direct du foyer. Un thermomètre plonge dans le liquide ; on élève *progressivement* la température (pour ne pas casser les bouteilles) et on maintient deux minutes à 60°. Les germes nuisibles du vin sont ainsi tués.

On peut aussi, dans les grandes exploitations, pasteuriser le vin en *fûts*, au moyen d'appareils spéciaux, où figurent notamment une pompe aspirante et foulante, une chaudière à serpents et à récupération de chaleur et une tuyauterie qui puise le vin dans les fûts, le conduit au chauffe-vin et le remporte pour le reverser dans des fûts méchés. En sortant du chauffe-vin, le liquide passe dans des tubes en contact avec ceux qui amènent le vin froid, d'où économie de combustible, par récupération de chaleur.

Pour terminer ce sujet disons que, si l'on veut conserver du vin pendant de longues années, il faudra le déposer dans des caves froides, sèches, propres et modérément aérées.

## Vins mousseux.

Les vins mousseux doivent leur propriété caractéristique à la présence d'une grande quantité de gaz carbonique dissous sous pression ; on obtient ce résultat en enfermant le vin en vase clos, dans des bouteilles bien bouchées, avant que la fermentation soit complètement terminée. Le plus connu et un des plus appréciés est le *vin de Champagne*. Nous nous contenterons d'énumérer brièvement la série des opérations que subissent les crus champenois en vue de les obtenir mousseux. Ce résumé sera facilement intelligible pour tout lecteur ayant suivi les explications antérieures :

- 1° Cueillette du raisin (généralement noir), élimination des mauvais grains ;
- 2° Pressurage mécanique, donc séparation rapide du moût d'avec les parties solides et colorées ;
- 3° Débourage pendant quelques heures ;

4° Soutirage en *fûts* vérifiés (et non en cuves);

5° Transport et abandon des fûts dans des celliers; la fermentation se déclare le lendemain;

6° Aux premiers froids, *soutirage* du vin, qui d'abord trouble, s'est éclairci par l'arrêt de la fermentation;

7° Recoupage, importante opération qui consiste à mélanger différents crus du pays dans une proportion déterminée, afin de compléter et d'exalter leurs qualités réciproques et d'obtenir, comme cela est indispensable au point de vue commercial, un type de vin constant;

8° Collage et embouteillage, au printemps;

9° Prise de mousse; le vin en bouteille est additionné d'une quantité déterminée de sucre candi; le bouchon, remis en place, est maintenu par une agrafe en fer: la bouteille est ensuite couchée et abandonnée pendant *trois ans* dans une cave à température constante. Certaines de ces caves, creusées dans la craie à 25 mètres de profondeur ont jusqu'à 15 et 20 kilomètres de développement; elles renferment une réserve de 10 à 12 millions de bouteilles représentant un capital énorme immobilisé, improductif d'intérêts, ce qui explique, entre autres raisons, le prix élevé du *bon et vrai champagne* qui n'est pas, comme d'aucuns se le figurent, une mixture quelconque provenant de crus sans nom ayant subi quelques louches et vagues manipulations. Ajoutons, pour compléter ces indications, que certains vignobles champenois de haute notoriété atteignent, malgré leur rendement relativement faible, des prix fabuleux à l'hectare.

Pendant ce long séjour en cave, grâce à la présence dans le liquide des ferments qui y subsistent et du sucre qu'on y a ajouté, la fermentation repart, mais en vase clos; le gaz carbonique ne pouvant s'échapper, reste dissous dans le liquide sous pression de 6 kilos environ; aussi, les bouteilles doivent être très résistantes, très épaisses et éprouvées au moins à 10 ou 12 kilos;

10° Electrisage, qui consiste en une série de tapotements obtenus mécaniquement ou électriquement, en vue de détruire l'adhérence du dépôt après le verre. Ensuite remuage pendant quelques mois, pour faire descendre le dépôt dans le goulot de la bouteille, celle-ci étant placée verticalement;

11° Dégorgement, ou élimination du dépôt. L'ouvrier penche le goulot vers le bas, enlève l'agrafe du bouchon, tire celui-ci complètement avec un appareil mécanique et redresse vivement la bouteille; à ce moment précis la pression du gaz chasse le bouchon et



expulse en même temps le dépôt et quelques centilitres de vin. Il reste dans la bouteille le champagne *brut*, éclairci. — Cette opération demande beaucoup d'habileté ;

12° Dosage, consiste dans l'addition de la *liqueur*, qui est une solution de sucre dans du vieux champagne non mousseux. La quantité de sucre varie avec le goût des consommateurs ; la Russie aime le champagne très sucré ; l'Europe centrale préfère le *goût français*, moyennement doux, ou *demi-sec* ; enfin les Etats-Unis et l'Angleterre réclament un vin extrêmement peu, ou même non sucré, très sec, *extra-dry* comme l'on dit en anglais.

En tout cas le sucre, ainsi ajouté après dégorgement et dosage, ne peut plus fermenter, les levures, qui s'étaient rassemblées dans le dépôt, ayant été expulsées avec lui. Le vin restera donc limpide ; pour plus de sûreté, les bouteilles sont encore mises en observation pendant six mois ;

13° Bouchage avec de bons lièges formés par l'accolement de deux demi-cylindres, ficelage, habillage.

**Notions économiques.** — La production moyenne de la France en vins divers, est de 52 millions d'hectolitres (66 millions en 1907), celle de l'Algérie étant de 6 à 7 millions d'hectolitres, le tout valant plus de 4 milliard de francs. Nous exportons environ pour 200 millions de francs, l'Espagne 60 millions et l'Italie 40 environ.

## Cidre et poiré.

Le cidre et le poiré sont obtenus respectivement par la fermentation du jus de pomme ou de poire. La fabrication en présente des analogies très étroites avec celle du vin et consiste évidemment à préparer d'abord le liquide sucré, ou *mout*, et ensuite à l'abandonner à la fermentation spontanée, car les levures nécessaires se trouvent sur l'enveloppe du fruit mûr, comme cela a lieu pour le raisin.

1° Préparation du *mout*. — Les fruits sont broyés soit dans une auge circulaire dans laquelle se meut une meule en pierre, soit mécaniquement entre des cylindres. On laisse ensuite

reposer la pulpe, *macérer*, comme l'on dit, pendant une douzaine d'heures, puis on la soumet à l'action d'un *pressoir* qui en fait sortir 55 à 60 pour 100 d'un liquide appelé *pur jus* et qui contient 100 à 125 grammes de sucre par litre. Après ce premier pressurage, la pulpe est additionnée d'eau (ce qu'on appelle le *rémiage*) et soumise à un second pressurage qui fournira un liquide avec lequel on obtiendra, après fermentation, le *petit cidre*, ou *cidre de boisson*. Le premier et le second pressurage peuvent être séparés, en vue d'obtenir des qualités extra et inférieure, ou bien mélangées pour avoir le *cidre marchand* ordinaire.

2<sup>o</sup> **Fermentation.** — Sous l'action de levures, analogues à celles de la vigne, qui existent à la surface de la pomme, la fermentation du moût se déclare; on opère soit dans des tonneaux, soit dans des cuves (grandes installations), le départ se fait au bout d'une douzaine d'heures et le liquide doit être maintenu à une *température assez basse*, une dizaine de degrés environ, afin d'empêcher le développement des ferments nuisibles et des levures sauvages. L'acide carbonique se dégage et soulève, comme dans la vinification, un *chapeau* formé par la coagulation de matières dites *pectiques*, puis, au bout de plusieurs jours, la fermentation tumultueuse se calme, s'arrête et les levures, ainsi que d'autres matières insolubles, se précipitent en formant un dépôt à la partie inférieure, de sorte que le cidre clair se trouve, comme l'on dit, entre *deux lies*.

3<sup>o</sup> **Soutirage.** — On transvase alors le cidre dans des fûts bien nettoyés et *mutés*; l'aération momentanée qui en résulte redonne un regain d'activité à la prolifération des levures et une fermentation secondaire, de courte durée, s'établit. Si, à ce moment, on met le cidre en bouteilles, la fermentation continuera en vase clos et l'on obtiendra le *cidre mousseux*, par dissolution intérieure du gaz carbonique qui ne peut trouver à s'échapper; il faudra, bien entendu, comme pour le champagne, ficeler les bouchons; on laissera les bouteilles *debout* pendant quelques mois, afin que l'excès de gaz puisse diffuser à travers le liège sans faire éclater les bouteilles, ensuite, celles-ci pourront être couchées.



Revenons au cidre en fûts. Pendant la durée de la fermentation secondaire, il sera utile de surveiller la marche et la terminaison de celle-ci, tout en empêchant la rentrée des bactéries extérieures nuisibles, en fermant la bonde par un système hydraulique. Les fûts, bien pleins pour éviter l'action de l'oxygène, sont abandonnés dans une cave la plus fraîche possible (un degré serait le mieux) et, une demi-année plus tard, peuvent être disponibles pour la consommation.

Si l'on veut avoir un cidre parfaitement limpide, on le colle, non à la gélatine ni à l'albumine qui seraient ici inutilisables, mais par une addition de tanin en proportion convenable.

4<sup>o</sup> **Maladies.** — Comme le vin, le cidre et le poiré, grâce à leur faible teneur en alcool (5 à 6 pour 100) et en tanin sont sujets à contracter des maladies par suite du développement excessif de certains germes, parmi lesquels nous signalerons ceux qui produisent la *fleur* et la *piqûre*, la *graisse*, l'*amertume*, le *noircissement* ou coloration brune. La première de ces altérations a pour effet de transformer une partie de l'alcool en eau et gaz carbonique qui, une fois parti, laisse le cidre avec un goût *plat*. La *piqûre* consiste en une *acétification* ou transformation de l'alcool en vinaigre. On évite facilement ces dommages, soit en *ouillant*, ce qui n'est guère praticable lorsqu'on *tire au tonneau*, soit mieux en versant une légère couche d'huile à la surface du cidre pour le séparer du contact de l'air. Quant aux autres affections, il n'y aurait que la *pasteurisation* qui pourrait réussir à les éviter, mais elle est impraticable car elle communiquerait au cidre un *goût de cuit*.

A côté de la méthode générale de fabrication ci-dessus exposée et qui est la plus communément suivie, on met aussi en pratique, dans certaines exploitations, le procédé de diffusion, analogue à celui qui est appliqué aux betteraves sucrières.

Le moût de poiré est très sucré par suite de la maturation facile de ces fruits, et de plus, il est doué d'une acidité plus grande que celle du jus de pomme, mais il contient moins de matières pectiques.

L'acidité du cidre et du poiré, est due, non à l'acide tartrique,  
IRIS - LILLIAD - Université Lille



présent dans le vin, absent ici, mais aux acides *malique* et *citrique* combinés à la potasse.

La production française est d'environ 17 millions d'hectolitres annuellement.

## Bière.

La bière résulte de la fermentation d'une infusion d'orge germée préalablement aromatisée avec du houblon. Tandis que la fermentation des moûts de raisin et de pomme se déclare naturellement, d'elle-même, ici au contraire, comme dans la fermentation panaire, il est indispensable d'ensemencer le liquide avec de la levure.

La fabrication de cette boisson, principalement répandue dans les pays de langue allemande ou anglaise, correspond à une production qui est presque le double de celle du vin en Europe. Il faut d'abord préparer le moût, puis le faire fermenter.

**1<sup>o</sup> Préparation du moût.** — Cette préparation comprend les opérations suivantes : maltage, touraillage et dégermage ; brassage ou saccharification ; cuisson et houblonnage ; refroidissement.

**Maltage.** — Il a pour but de transformer l'orge en *malt*, c'est-à-dire de faire naître, par la germination de cette graine, une substance diastasique appelée *amylase*, qui a la propriété de changer l'amidon d'abord en dextrine, puis en un sucre appelé *maltose*, directement fermentescible sous l'influence de la levure de bière.

La graine, pour germer, a besoin d'air ; d'humidité et d'une température d'environ 15°. On commence donc par l'imprégner d'eau en la plongeant dans une *cuve-mouilloire*, puis les grains humides sont étalés, en une couche d'une vingtaine de centimètres, sur un plancher cimenté, dans une vaste chambre maintenue à la température indiquée. Au bout d'un ou deux jours, on voit apparaître sur le grain une petite pointe ; il faut alors retourner la couche afin d'y faire pénétrer de l'air dont l'oxygène est absorbé par la graine ; il faut aussi empêcher la

température de s'élever, surtout si le temps est au chaud, sinon il se développerait dans la masse des moisissures abondantes. Tout ceci exige des soins constants, beaucoup de main-d'œuvre, une température extérieure favorable et un emplace-

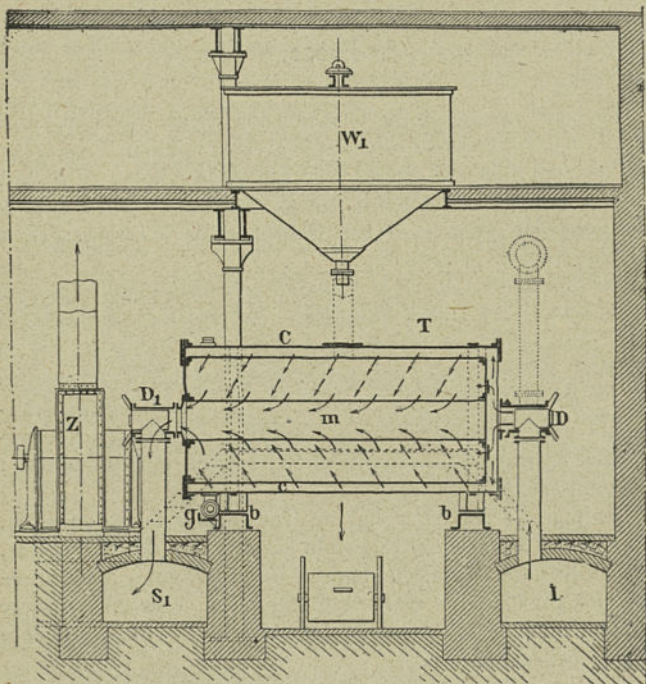


Fig. 289. — Maltage pneumatique; germination de l'orge mouillée dans les tambours.

ment considérable; aussi a-t-on imaginé, pour échapper à tous ces inconvénients, le *maltage pneumatique*; on opère alors dans des cylindres horizontaux à double enveloppe (fig. 289); celle qui est intérieure, cannelée et perforée, reçoit l'orge humectée, tandis qu'on insuffle dans l'espace annulaire la quantité d'air nécessaire, sec ou humide, froid ou chaud selon



les nécessités ; l'air chargé de l'acide carbonique dégagé par la germination s'en va par le tube de tôle perforée qui forme l'axe de l'appareil ; en même temps, on communique à chacun de ces cylindres un mouvement de rotation autour de son axe, d'environ un tour par heure, de manière à brasser la masse du grain ; on peut ainsi opérer en toute saison sans avoir à redouter aucun déboire. Au bout de huit à neuf jours environ, si la température est de 11° à 13°, chaque grain d'orge a germé, il est alors pourvu de petits filaments appelés *radicelles* et d'une *plumule* (fig. 290) qui ne doit pas dépasser les trois quarts du grain

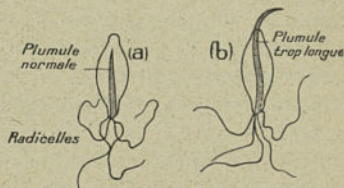


Fig. 290.

(a) grain d'orge germé à point ; (b) grain « hussard » trop germé.

(fig. a) ; si la germination est trop avancée, on a le grain *hussard* (fig. b). Ce système de maltage n'exige qu'un emplacement quinze fois plus faible que celui nécessité par le procédé ordinaire.

**Touraillage.** — Aussitôt l'orge à point, on arrête la germination afin d'empêcher la *diastase*, qui existe maintenant dans le grain, de transformer l'amidon en maltose qui serait immédiatement consommé par la jeune plantule avide de se développer ; celle-ci est alors tuée par le chauffage et la dessiccation dans de grandes pièces dont le plancher est constitué par une toile métallique sur laquelle on étale l'orge germée ; on fait arriver dans ces chambres, à travers le treillis métallique, le courant des gaz chauds provenant d'un foyer en activité. Tant que l'orge est humide, il ne faut pas trop chauffer, car alors la diastase, ou amylase, serait elle-même détruite par une température supérieure à 75° ; mais, le grain aussitôt sec, on peut, sans inconvénient, aller jusqu'à 100°.

**Dégermage.** — Pour briser les radicelles et les séparer du grain, on introduit l'orge germée dans une sorte de tambour rotatif dont la surface latérale est formée par une toile métal-



lique. Les radicules se brisent et leurs débris traversent le crible, laissant à l'intérieur le *grain* que l'on soumet ensuite à un concassage ; on a ainsi le *malt*.

**Brassage ou saccharification.** — L'objet essentiel de cette opération consiste à traiter le malt par l'eau chaude, de façon à amener son amidon à l'état d'empois, vers la température de 60 à 63° et à lui faire subir l'action de la diastase qui transformera l'empois, d'abord en dextrine, puis en maltose. Dans ce but, le malt broyé est introduit dans une grande cuve à double fond, appelée *brassin* ou *cuve-matière*, où l'on fait arriver l'eau. Pour faciliter l'action de ces substances les unes sur les autres on agitait autrefois la masse au moyen de perches manœuvrées à bras d'homme, d'où le nom de *brassage* qu'on donnait à cette opération, et celui de *brasserie* à l'établissement où elle s'effectuait. Aujourd'hui la cuve-matière est munie d'agitateurs mécaniques assez compliqués, l'eau arrive par le double fond perforé et le moût peut être évacué de même.

Il existe deux modes de brassage : par *infusion* ou par *décoction*. Le premier est pratiqué en Angleterre, en Belgique et dans le nord de la France ; il consiste à traiter le malt par de l'eau chaude à une température voisine mais inférieure à 75°. Il est important, dans tout procédé de brassage, d'atteindre cette température pour tuer les bactéries nuisibles, sans cependant la dépasser afin de ne pas détruire la diastase.

Le second procédé est celui qui est employé en Allemagne, en Autriche et aussi dans une partie de la France ; comme son nom de *coction* l'indique, il fait intervenir l'ébullition, non pas de la masse entière, ce qui détruirait l'activité de la diastase totale, mais par portions successives, ou *trempes* (dites encore *mâisches*) ; on commence d'abord, comme on dit en style de brasseur, par *faire la salade*, ce qui signifie qu'on fait arriver de l'eau tiède (35°) sur le malt déposé dans la cuve-matière ; on prélève ensuite un tiers de la masse épaisse, au moyen d'une pompe, et on l'envoie dans une chaudière spéciale dite *cuve à trempes* ou à *dickmaisches*<sup>1</sup> ; la trempe y est portée à l'ébul-

1. Dick, en allemand, signifie épais.

lition, puis elle fait retour à la cuve-matière ; on attend un peu, puis on recommence la même série d'opérations une deuxième et une troisième fois ; dans ces conditions, on conçoit que la température de la masse va constamment en s'élevant, ce qui a pour effet d'amener l'amidon à l'état d'empois, forme sous laquelle il est facilement transformé par la diastase du malt. Bien entendu, on ne dépasse, en aucun cas dans la cuve-matière, la température critique de 75° et on brasse continuellement. De nos jours, on opère dans des cuves complètement fermées, chauffées à la vapeur et disposées en batterie (fig. 291).

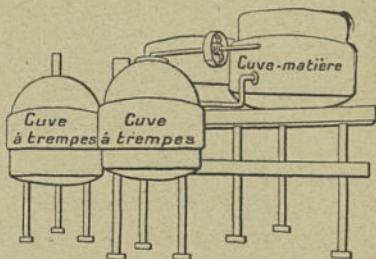


Fig. 291. — Schéma de la disposition générale d'un brassage à la vapeur.

**Cuisson et houblonnage.** — Le moût, séparé du résidu de malt ou drèche <sup>1</sup>, est porté à l'ébullition avec 400 grammes de cônes de houblon par hectolitre. Ces cônes (fig. 292) fournissent au liquide une matière jaune, amère et aromatique appelée *lupuline*, et un peu de tanin. Le moût est un liquide sucré très altérable ; l'ébullition le stérilise, la lupuline l'aromatise et joue le rôle d'antiseptique, le tanin coagule les matières azotées et contribue, par cela même, à la clarification du liquide.



Fig. 292. — Cône de houblon.

**Refroidissement.** — On refroidit rapidement le moût, d'abord en l'exposant à l'air dans de grands bassins très peu profonds, puis en le faisant tomber en cascade le long d'un réfrigérant consistant en un long tube replié plusieurs fois sur

1. Nourriture des bestiaux.



lui-même et parcouru intérieurement par un courant d'eau glacée (fig. 293). Ce dispositif, d'un nettoyage facile, a pour

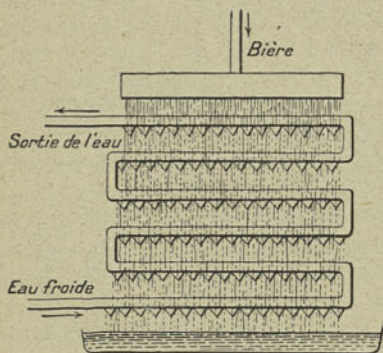


Fig. 293. — Fabrication de la bière ;  
réfrigérant à cascade.

effet d'abaisser la température du moût à 16° environ, ou à 5 ou 6°, selon le mode de fermentation *haute* ou *basse* que l'on adopte.

**2° Fermentation du moût.** — Le moût est dirigé dans de grands récipients, des cuves généralement, et y est additionné d'une quantité déterminée de levure. Deux systèmes sont en présence, selon la température à laquelle

s'effectue la fermentation : celle-ci est *haute* si elle a lieu à 15° ou au-dessus, *basse* vers 5 à 6°.

**Fermentation haute.** — Elle s'effectue rapidement et est terminée en quelques jours ; le gaz carbonique se dégage abondamment et amène à la surface une grande quantité de levure, d'où le nom de fermentation haute. On opère généralement dans des cuves, ou bien quelquefois, comme dans le Nord de la France et en Belgique, dans des tonneaux ; la levure s'échappe alors par la bonde ; dans ce dernier cas, la mise en levain est préalablement effectuée dans une cuve spéciale dite *guilloire*. Quand la fermentation est terminée, on clarifie le liquide par un collage à la gélatine.

**Fermentation basse.** — Elle a lieu dans de grandes cuves constamment refroidies par des serpentins dans lesquels circule une solution saline au-dessous de zéro degré, ou bien dans lesquelles sont suspendus des récipients à glace appelés *nageurs* (fig. 294). Ces cuves sont alignées en grand nombre dans de vastes caves refroidies elles-mêmes par un réseau de tuyauterie où passe continuellement un liquide salin à 8 ou 10° au-dessous



de zéro. Ce liquide, cette saumure, comme l'on dit encore, provient d'une machine frigorifique installée dans l'établissement ; il circule dans la canalisation et, réchauffé en route, revient à son point de départ où il se refroidit de nouveau. Comme l'atmosphère des caves est humide, la vapeur d'eau se

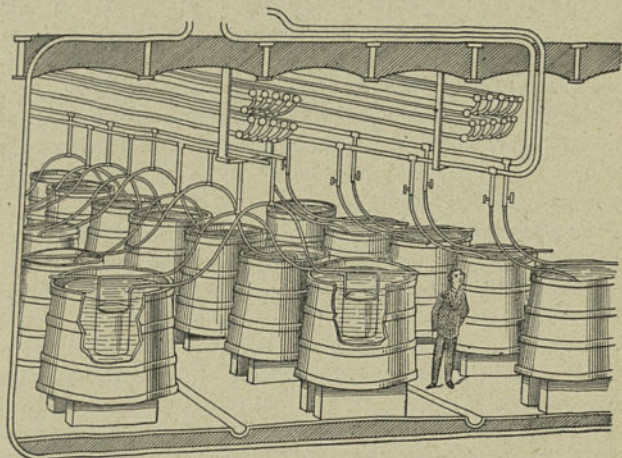


Fig. 294. — Fabrication de la bière ; cuves pour la fermentation basse.

condense sur les tubes réfrigérants et y forme une couche épaisse de givre blanc.

A une température si basse, la levure n'agit que lentement et la fermentation n'est achevée qu'au bout de deux semaines ; la levure gagne alors la partie inférieure des cuves ; d'où le nom de fermentation basse donnée à cette méthode de travail. On soutire ensuite la bière et on la conduit dans de vastes tonneaux, ou *foudres*, placés dans une *cave de garde* et où la température ne dépasse pas 10° ; pendant les deux ou trois mois que la bière y séjourne, elle y subit une petite fermentation complémentaire, s'y clarifie et acquiert son bouquet spécial. Il est évident que cette longue attente serait éminemment favorable à l'altération du liquide, si l'on n'avait pas soin, en

même temps, de le maintenir très froid. On compte que la quantité de froid nécessaire à la marche normale d'une brasserie nécessite la production et la consommation d'une quantité de *frigories*<sup>1</sup>, équivalente à un poids de glace égal à celui de la bière.

La mise en fûts ou en bouteilles se faisait autrefois à l'air libre ; il en résultait une mousse abondante, une durée de remplissage interminable et une perte en gaz carbonique préjudiciable à la qualité et à la conservation de la bière. Actuellement, un progrès considérable a été réalisé par l'enfûtage et l'embouteillage à l'abri de l'air, sous pression d'acide carbonique : par ce moyen, il n'y a plus de mousse<sup>2</sup>, plus de perte de gaz et l'opération est très rapide.

**Maladies de la bière.** — La bière, comme le vin et le cidre, est sujette à de nombreuses altérations ou maladies, dues, les unes à des ferments aérobies (fleur, piqure), les autres à des germes anaérobies ou à des levures sauvages. La pasteurisation nuit un peu au bouquet de la bonne bière ; néanmoins elle est pratiquée nécessairement (à 50-55°) pour les bouteilles d'exportation.

Un grand point, en brasserie, est de n'opérer la fermentation qu'avec des moûts stérilisés et des levures pures, sélectionnées. On conçoit sans peine, et l'expérience est là pour le vérifier, que les bières de fermentation haute sont moins de conserve que celles de fermentation basse qui peuvent généralement se tirer au tonneau (Bier vom Fass).

**Fabrication de la levure.** — La levure est maintenant fabriquée, pour les besoins de la boulangerie, dans des établissements spéciaux, par fermentation d'un levain pur dans un moût obtenu avec du malt. Ce dernier se prépare selon les méthodes indiquées antérieurement à propos de la bière, et notamment par le maltage pneumatique (voir : fabrication de la bière, maltage et figure 289). Vient ensuite la préparation du moût, par des procédés et au moyen d'ap-

1. La *frigorie* est, en froid, l'équivalent d'une calorie, en chaleur.

2. La mousse est causée par le dégagement tumultueux du gaz carbonique.

pareils macérateurs à double fond très analogues à ceux usités pour la bière. Ce moût est ensuite distribué, une fois refroidi, dans de grandes cuves maintenues à une température voisine de 25° et où l'on ajoute du levain de boulange choisi et un peu de vinasse provenant d'une opération antérieure. On recueille les nouvelles générations de levure au fur et à mesure qu'elles montent à la surface des cuves, on tamise le magma fluide pour le séparer de la drèche solide et des mucilages qu'il contient, puis on soumet la matière à l'action de filtres-presses analogues à ceux de sucrerie (voir antérieurement); on en ressort des *tourteaux* de levure qu'on découpe en petits paquets et qu'on enveloppe dans du papier parcheminé. Le gaz carbonique dégagé est recueilli, liquéfié et vendu.

## V. — ALCOOLS ET EAUX-DE-VIE

**Généralités.** — On sait depuis longtemps extraire, par distillation des boissons fermentées, un liquide fortement alcoolisé qui, dès l'origine, fut appelé *eau-de-vie* pour rappeler l'excitation que provoque son absorption; ce nom, cependant, n'est guère mérité en raison des troubles graves qu'amène dans l'organisme une consommation même faible mais souvent répétée.

Les eaux-de-vie de vin, de cidre, etc., furent ainsi la source unique à laquelle on s'adressa pour avoir de l'alcool, mais lorsque, par suite des ravages exercés par le phylloxéra dans les vignobles, la production de l'eau-de-vie vint à baisser tandis que la demande allait plutôt en croissant, les distillateurs s'ingénierent à trouver d'autres moyens pour faire face aux demandes de la consommation. C'est ainsi qu'ils furent amenés à utiliser la fermentation du jus de betterave et des mélasses diluées, puis celle des matières amylacées préalablement saccharifiées. Nous sommes donc amenés à envisager deux catégories d'alcools.

1° *Les eaux-de-vie*, qu'on pourrait encore dénommer *alcools naturels*, qui proviennent de la fermentation d'un liquide sucré naturellement et directement fermentescible, sans ensemence-



ment préalable de levure ; ce liquide sucré naturel est le jus de certains fruits charnus : raisin, pomme, cerises, prunes, qui fournissent respectivement les eaux de-vie de vin, de cidre, le kirsch, le quetsche. Ces liquides sont loin d'être de l'alcool absolu, car ils contiennent une proportion d'eau déjà notable. Aussi n'est-ce pas seulement l'alcool qu'ils contiennent qui fait leur valeur marchande, mais encore leurs qualités de parfum et de fine saveur.

2° *Les alcools d'industrie* qui proviennent de liquides sucrés dont la fermentation a été obtenue par un ensemencement artificiel de levure. Ce liquide peut être sucré naturellement, comme celui qui dérive de la betterave ou de la mélasse, auquel cas, cependant, le sucre ou saccharose qu'ils contiennent doit subir une *interversion* (Voir plus loin) ; ou bien le moût sucré provient des céréales ou de la pomme de terre dont la matière amylacée a été saccharifiée par ébullition avec un acide dilué ou plutôt par l'action de la diastase du malt. De tels liquides fermentés, une fois distillés et rectifiés, n'ont pas d'arome particulier ; ils n'ont que l'odeur et la saveur propres à l'alcool chimique lui-même et leur valeur marchande est uniquement fonction de la proportion centésimale d'alcool qu'ils contiennent, c'est-à-dire de leur degré alcoolique Gay-Lussac.

## Alcools.

Toute fabrication d'un alcool industriel quelconque comprend nécessairement trois phases :

- 1° La préparation du moût sucré ;
- 2° La fermentation ;
- 3° La distillation.

Nous allons d'abord passer rapidement en revue les deux premières opérations, d'après la nature des substances traitées. C'est surtout sous le rapport de la préparation des moûts que l'on rencontre de grandes différences selon les végétaux dont on part ; s'il s'agit d'une matière déjà sucrée, l'opération est

évidemment plus simple que dans le cas des substances amylacées.

**Alcools de mélasses.** — Pour faire de l'alcool, on se sert, dans les régions sucrières, soit du jus de betteraves diffusées, soit des mélasses diluées. Par elle-même, la mélasse est trop épaisse pour subir l'action de la levure et il faut préalablement y amener une grande quantité de vapeur d'eau en ébullition, qui a pour effet, non seulement de diluer la mélasse jusqu'à ce qu'elle marque 25° Baumé environ, mais encore de la *stériliser*, ce qui est un point essentiel pour avoir une bonne fermentation. Le liquide est ensuite additionné d'une petite quantité d'acide sulfurique destiné à neutraliser la réaction alcaline naturelle de la mélasse, à décomposer les *nitrites* qu'elle contient généralement et surtout à *invertir* le sucre ordinaire, ou saccharose, que la levure attaque mal ; c'est qu'en effet l'ébullition d'une eau sucrée avec un acide étendu a pour effet de décomposer le sucre ordinaire en deux substances, le *glucose* et le *lévulose*, dont le mélange prend le nom de *sucre inverti*, et qui sont directement et aisément fermentescibles par l'action de la levure.

Le moût, après interversion et dénitration, est refroidi jusque vers 25°, puis additionné de céréales saccharifiées afin de fournir au bain les substances azotées que réclame la levure ; celle-ci est ensuite introduite dans la cuve en quantité voulue.

Une grosse préoccupation, en distillerie, est celle du renouvellement du ferment, de façon à l'avoir toujours identique à lui-même. Il ne faut pas songer à faire des prélèvements sur cuve en travail pour constituer un levain de réserve qui entrerait en jeu dans la cuvée prochaine : malgré les précautions, il y a trop de germes sauvages ou étrangers qui envahissent les moûts et l'on n'aurait bientôt plus qu'un levain hybride et sans valeur. Il s'agit donc d'instaurer, à côté de la marche générale de l'usine, un élevage de cultures pures en quantités suffisantes pour les besoins. Cet élevage nécessiterait l'installation dans chaque usine, ou tout au moins dans une région d'usines, d'un laboratoire de cultures microbiennes ; nos industriels ne sont pas encore assez familiarisés avec cette idée d'une collaboration constante et aussi étroite de la science et de l'industrie. Pour se tirer



d'affaire, ils envoient donc à Berlin ou à Copenhague une certaine dose de leur mélasse, et c'est dans ce milieu de culture tout à fait adéquate à la marche de l'usine, que les chimistes allemands ou danois cultiveront le type déterminé de levure pure qui convient et qui sera ensuite renvoyé en quantité à l'usine. Ce pied de levure pure servira, cultivé en solution de mélasse diluée et stérilisée, à en obtenir la quantité suffisante pour l'ensemencement des cuves. La fermentation dure quelques jours, elle s'arrête assez brusquement quand tout le sucre a disparu. On envoie alors le *vin* (liquide trouble des cuves), avec ses mousses et ses levures, à l'appareil distillatoire.

**Alcools de grains.** — L'amidon des céréales, du seigle notamment, qui est très employé, doit d'abord être transformé en sucre maltose par l'action du malt; plus rarement on saccharifie au moyen des acides dilués bouillants; dans ce cas, l'amidon est transformé en dextrine, puis en glucose.

Les céréales sont d'abord cuites sous pression afin d'amener la matière amylicée à l'état d'empois, puis on ajoute du *malt vert* délayé dans l'eau; ce malt est ainsi appelé parce qu'il n'a pas subi la dessiccation que produit le touraillage (Voir *Bière*) et qu'il est ainsi extrêmement riche en diastase très active. La saccharification s'effectue dans une cuve-matière, comme en brasserie, et le moût refroidi est dirigé dans les cuves et ensemencé soit de levure pure, ou de levure pressée (Voir antérieurement: *Fabrication de la levure*), ou de levure de brasserie.

On a perfectionné cette industrie par l'emploi combiné de la levure de bière et d'un ferment différent qui est une moisissure, une mucédinée, appelée *Amylomyces*, dont on peut obtenir des cultures pures sur riz cuit. La saccharification par le *malt vert* ayant été effectuée, comme il a été dit, puis le liquide stérilisé par ébullition sous pression et ensuite refroidi *aseptiquement* (au contact d'air filtré), on ensemence avec l'*amylomyces* qui commence par achever ce que la diastase n'avait pu terminer, à savoir, la transformation totale de la dextrine en sucre fermentescible; cette moisissure amorce ensuite la fermentation alcoolique et c'est alors qu'on adjoit la levure dont l'action s'ajoute à la précédente.



Ce procédé, dit à l'*amylo*, travaille en cuves fermées, donc aseptiquement, donne le rendement maximum en alcool et permet de récupérer le gaz carbonique, qui est ensuite comprimé, liquéfié et vendu.

**Alcools de pommes de terre.** — Les tubercules nettoyés sont chauffés en autoclave jusque vers 140° pour transformer l'amidon en empois. Une détente brusque de la pression déchire les cellules et donne une sorte de purée. La suite de la fabrication est analogue à celle qui concerne les grains. Cette industrie, peu pratiquée en France, est au contraire très répandue en Allemagne pour diverses raisons, fiscales et agricoles.

**Distillation.** — L'une quelconque des opérations précédentes nous donne un liquide alcoolisé fortement aqueux; le but de la distillation est de séparer ces deux substances, de façon à avoir de l'alcool à 90° ou même 95° centésimaux (ou degrés alcooliques Gay-Lussac). Rappelons, à ce propos, qu'un alcool est dit avoir une *richesse alcoolique* de 95° G.-L.<sup>1</sup>; ou il est dit *marquer* ou titrer 95° G.-L., lorsque 100 litres de ce liquide contiennent 95 litres d'alcool *absolu* (corps qui répond à la composition chimique C<sup>2</sup>H<sup>6</sup>O).

La séparation de l'eau et de l'alcool s'effectue en deux phases :

1° Une *désflegmation*, ou première distillation, qui fournit un alcool brut, ou impur, encore appelé *flegme*;

2° Une *rectification*, ou deuxième distillation, qui purifie le flegme et en élève encore le titre alcoolique, en éliminant les produits de *tête* et de *queue* qui sont mauvais, pour ne garder que l'alcool *bon goût*, ou de *cœur*.

Avant de décrire les appareils employés, faisons d'abord connaître rapidement les principes scientifiques sur lesquels est basé leur mode d'action.

**Principe des appareils distillatoires.** — 1° *Distillation simple.* — L'alcool absolu bout à 78°, l'eau à 100°. L'eau alcoo-

1. G.-L. pour Gay-Lussac.

lisée bout à une température intermédiaire, d'autant plus basse que la proportion d'alcool est plus considérable. Mettons un tel mélange d'eau et d'alcool dans un ballon de verre A (fig. 295) dont le bouchon est traversé par la tige d'un thermomètre T et par un tube C destiné à conduire les vapeurs dans un deuxième

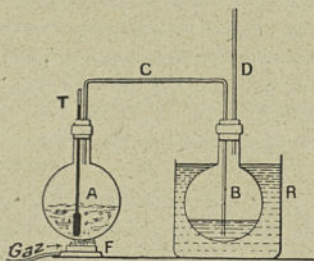


Fig. 295. — Distillation simple.

ballon B entouré d'un *réfrigérant* R qui, ici, est un vase quelconque contenant de l'eau froide renouvelable ; D est un tube s'ouvrant librement dans l'atmosphère et destiné à éviter toute augmentation dangereuse de la pression intérieure.

Le liquide A, étant chauffé par le foyer F, va émettre des vapeurs *mixtes*, c'est-à-dire composées d'eau et d'alcool, mais dans une *proportion différente* de celle du liquide, car l'analyse montre que le liquide condensé en B est beaucoup plus riche en alcool que celui de A. Un *alambic* ordinaire fonctionne d'une manière analogue.

2° *Distillations successives*. — Pour atteindre un titre alcoolique plus élevé, il faudrait recommencer l'opération précédente en partant du liquide que nous venons d'obtenir.

3° *Distillation méthodique et continue*. — La série des distillations successives précédentes constitue une opération longue et dispendieuse ; son seul mérite réside dans la simplicité de l'appareil ; en sacrifiant celle-ci, on pourra gagner beaucoup en *continuité* et en *combustible*, comme cela est réalisé dans les laboratoires de chimie par le classique *appareil à boules* (fig. 296) : une série d'ampoules de verre B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ... B<sub>5</sub>

sont étagées les unes au-dessus des autres et reliées par des étranglements imparfaitement obturés par des cornets en toile de platine ou des petits clapets; des siphons latéraux RSTU font encore communiquer ces ampoules entre elles par leur partie inférieure. L'appareil se place au-dessus du ballon B qui con-

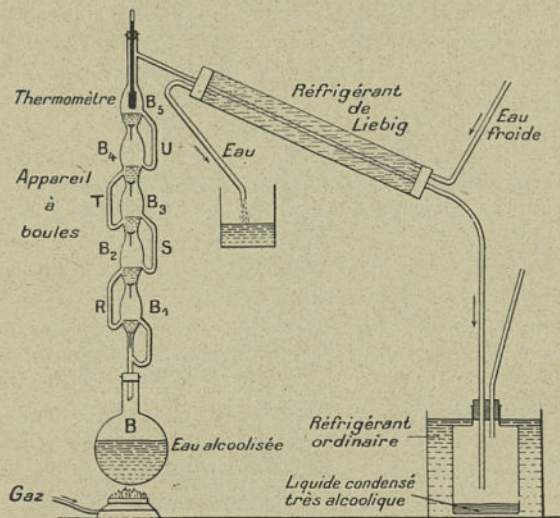


Fig. 296. — Distillation d'un liquide mixte; appareil de laboratoire.

tient le liquide à distiller, on ferme le haut par un bouchon que traverse la tige d'un thermomètre et on ajuste sur le côté un réfrigérant dit de Liebig, long tube de verre constamment refroidi à l'extérieur par un courant d'eau froide circulant dans un manchon de verre. Le mode de fonctionnement est le suivant : le ballon B, jouant le rôle de chaudière, envoie en B<sub>1</sub> des vapeurs mixtes qui s'y condensent en un liquide retenu par l'étranglement; de même B<sub>1</sub>, chauffé par les vapeurs qui viennent d'en dessous, envoie en B<sub>2</sub> des vapeurs moins aqueuses qui s'y condensent, et ainsi de suite; la température va en



décroissant de bas en haut jusqu'au thermomètre qui doit marquer une température peu supérieure à 78° environ.

On voit que les vapeurs mixtes, en s'élevant dans la colonne, y rencontrent des boules de plus en plus froides et y abandonnent le corps le plus facilement condensable, l'eau ; cette eau liquide encore alcoolisée redescend alors de boule en boule par les siphons latéraux de retour et se trouve ainsi portée à des températures de plus en plus élevées ; elle s'appauvrit donc en alcool et revient à la chaudière complètement dépouillée de ce corps.

En résumé, deux courants inverses :

De bas en haut, vapeurs de plus en plus riches en alcool ;

De haut en bas, liquides de plus en plus riches en eau.

Les vapeurs alcooliques riches affluent ensuite dans le tube réfrigérant et viennent se condenser dans un flacon entouré d'eau froide. Cet ingénieux appareil effectue donc à lui seul, et d'une manière continue, plusieurs distillations successives avec la moindre dépense de combustible. C'est le principe de la *colonne à plateaux* des appareils industriels dont nous allons maintenant nous occuper.

**Déflegmation.** — La partie principale d'un *déflegmateur* consiste en une haute colonne en cuivre formée par la superposition d'un grand nombre de plateaux perforés ; ceux-ci, chargés de liquide alcoolique, jouent un rôle analogue aux boules de l'appareil à distillation méthodique continue que nous venons de décrire. L'ensemble du déflegmateur est représenté figure 297 ; quelques plateaux de la colonne A sont visibles, à plus grande échelle, sur la figure 298. On aperçoit les orifices à rebords coiffés par un cône qui force les vapeurs à barboter dans le liquide quand elles changent de compartiment ; des tuyaux verticaux jouent le rôle de siphons de retour.

Il n'y a pas de chaudière. Le chauffage direct de la partie inférieure est obtenu par un procédé, rationnel au fond, mais qui peut surprendre de prime abord, étant donné qu'on veut enlever de l'eau au liquide alcoolique : on y *fait arriver de la vapeur* ; celle-ci vient d'un générateur, traverse

le régulateur F à débit réglé et entre dans la colonne A par

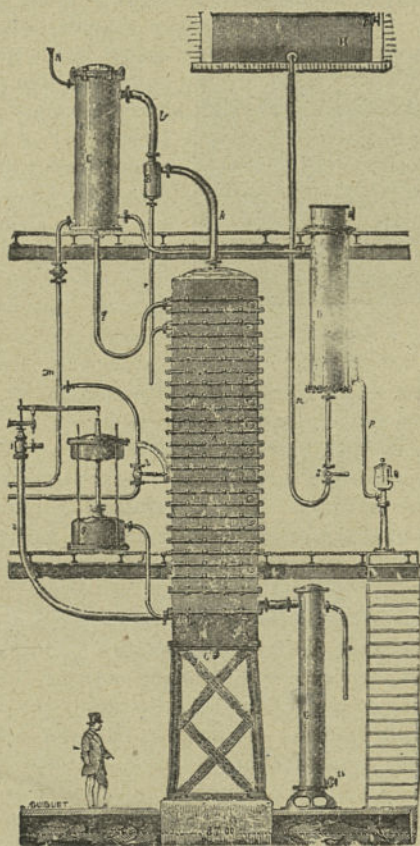


Fig. 297. — Dégremateur Savalle.

la partie inférieure. Le liquide à distiller arrive par le

tuyau S, passe dans un *chauffe-vin* C dont nous reparlerons tout à l'heure et s'écoule à la partie supérieure de la colonne A; il descend de plateau en plateau en sens inverse de la vapeur.

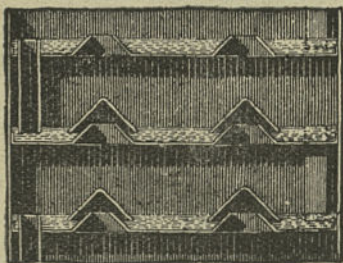


Fig. 298. — Coupe des plateaux de la colonne Savalle.

Le liquide, ainsi chauffé, dégage ses vapeurs alcooliques, comme dans un appareil à boules; ces vapeurs sortent par le tube K, circulent ensuite dans un serpentin noyé dans le chauffe-vin C et y abandonnent de la chaleur dont profite le liquide neuf qui arrive par S, d'où une récupération calorifique et une économie; ces vapeurs alcoolisées se

rendent dans le réfrigérant D, s'y condensent et les flegmes obtenus ainsi arrivent ensuite à l'éprouvette E.

Cette éprouvette, représentée à part figure 299, est, en quelque sorte, l'œil de surveillance et de contrôle de la marche générale des appareils. Elle se compose, comme son nom l'indique, d'une capacité en verre fermée à sa partie supérieure et communiquant inférieurement avec le tuyau B d'amenée des flegmes. Dans l'axe de l'éprouvette se dresse une échelle graduée et un orifice de sortie O, de grandeur fixe et calculée. Le liquide arrivant par B tend à remplir l'éprouvette, il en est empêché par l'air supérieur formant matelas élastique et il tend à s'échapper par l'orifice O; il en résulte que le niveau du liquide, lu sur l'échelle, est fonction du *débit* des appareils, c'est-à-dire de la production de l'usine. L'échelle est graduée directement en nombre de litres fabriqués à l'heure. D est un robinet de dégustation ou d'essai; G une chambre de laquelle le liquide peut être dirigé à volonté dans diverses directions, au moyen des robinets I, J, K. Un alcoomètre de Gay-Lussac et un thermomètre plongent dans l'éprouvette et permettent de se rendre compte de la richesse alcoolique du flegme. En somme, on voit que l'éprouvette permet de contrôler à tout instant la



quantité et la qualité de la production. C'est bien, comme nous le disions, l'œil de tout l'organisme.

Si les vapeurs alcoolisées s'élèvent dans la colonne, inversement et nécessairement, les liquides aqueux épuisés, ou *vinasses*, descendent ; ils sont évacués en G. La marche du déflegmateur est continue.

**Rectification.** — Le flegme ainsi obtenu titre environ 50<sup>o</sup> centésimaux ; il contient donc encore une notable proportion d'eau, mais aussi d'autres substances, nuisibles celles-ci, dont il faut absolument le débarrasser pour le rendre buvable.

Ces produits à éliminer sont : l'*aldéhyde* qui est plus volatil que l'alcool et qui passera dans les produits de *tête*, c'est-à-dire au début

de la rectification ; divers alcools (propylique, butylique et surtout amylique), ou huiles de *fousel*, qui passeront dans les produits de *queue*, c'est-à-dire à la fin de la distillation.

La purification consiste donc à soumettre le flegme à une deuxième distillation qui diffère de la première principalement par les points suivants :

1<sup>o</sup> Le chauffage se fait à *sec*, par un serpentín de vapeur, de telle façon que celle-ci ne soit plus, comme dans la déflegmation, mélangée au liquide à travailler ;

2<sup>o</sup> La distillation est *fractionnée*, c'est-à-dire qu'au lieu de

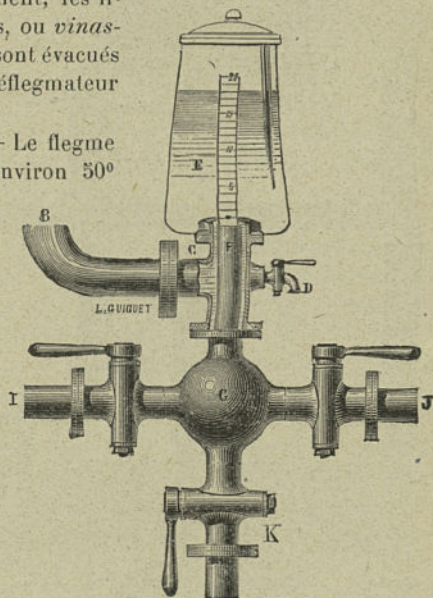


Fig. 299. — « Éprouvette » d'appareil distillatoire.

chauffer *brusquement* et immédiatement jusque vers 80°, on

n'élève la température que progressivement, de manière à ne volatiliser d'abord que l'aldéhyde et autres impuretés très aisément gazéifiables telles que l'éther acétique, etc. On obtient ainsi une première portion représentant environ 3 pour 100 du total et qui sera rejetée quand elle arrivera dans l'éprouvette F (fig. 300); A est une grande chaudière dans laquelle se trouve le flegme, ou alcool brut, chauffé par un serpentín non visible : B est une colonne à plateaux qui produit un enrichissement progressif des vapeurs en alcool ; C est un condenseur-analyseur maintenu à une température telle qu'une

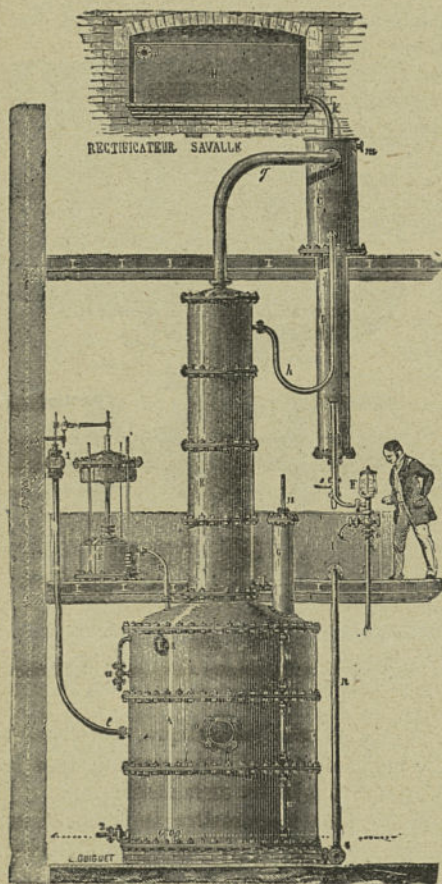


Fig. 300. — Rectificateur Savalle.

bonne partie du liquide qui s'y condense retourne aux plateaux par le tube *h*; le restant plus volatil, qui a échappé à l'action

de C, vient se condenser dans le réfrigérant D maintenu à une température suffisamment basse ; le liquide arrive enfin à l'éprouvette d'observation F. Une fois les produits de tête éliminés, on élève la température de la chaudière et on recueille l'alcool *bon goût* qui marque 90° ou 95° G -L. Enfin la température atteignant 100° à 102°, les alcools mauvais font leur apparition, on les dirige alors dans des récipients spéciaux, en manœuvrant un des robinets L, J ou K de l'éprouvette (fig. 299).

Comme on le voit, la rectification est *discontinue*, puisque le liquide de la chaudière, le flegme, ne peut être renouvelé qu'à la fin de l'opération, pour en recommencer une nouvelle. Il existe cependant des systèmes à rectification continue.

Tous ces appareils, quels qu'ils soient, sont constamment placés sous le contrôle de la Régie, qui plombe tous les ajutages ainsi que les réservoirs. Les droits de régie, dont nous parlerons après les eaux-de-vie, sont payés par le destinataire.

**Eaux-de-vie.** — Les eaux-de-vie sont obtenues, comme nous l'avons indiqué au début de ce paragraphe, par la distillation des liquides fermentés naturels : vin, cidre, poiré, jus de cerises, de prunes, etc. Les procédés de fabrication ne diffèrent pas essentiellement de ceux qui viennent d'être exposés pour les alcools d'industrie : désflegmation, rectification. Les liquides obtenus dans les campagnes, au moyen d'alambics ambulants et de *pouvoir analysant* très faible, ne sont pas toujours de première qualité quoiqu'ils proviennent de produits *naturels* ; certains marcs ou quetsches, ainsi obtenus, sentent à plein nez le fousel et l'empyreume et font les délices des gosiers blasés incapables d'apprécier une saveur délicate ; ces liquides, malgré leur origine naturelle, sont loin d'être inoffensifs par suite de la présence des produits de tête et de queue insuffisamment éliminés, et ne valent pas l'alcool d'industrie qui est beaucoup plus pur.

On fabrique d'ailleurs quelques eaux-de-vie par macération des lies ou des marcs dans l'alcool d'industrie et distillation subséquente ; mais l'arome de ces liquides n'est pas aussi fin que celui des marcs naturels convenablement travaillés.



Le *cognac* est obtenu par la distillation du vin des Charentes; il ne doit sa coloration qu'à un séjour prolongé dans des fûts en chêne. L'eau-de-vie dite *armagnac* a une origine analogue, mais elle est moins précisée.

L'*eau-de-vie blanche* est tout simplement de l'alcool industriel étendu de moitié d'eau.

L'*absinthe* est obtenue par digestion des vapeurs d'alcool condensées sur certaines plantes aromatiques parmi lesquelles dominant l'absinthe, le fenouil, la mélisse, etc., qui fournissent au liquide certains principes tels que la *thuyone* et autres, très dangereux pour l'organisme, stupéfiants du cerveau et du système nerveux.

Le *genièvre* (*gin* des Anglais) est un alcoolat de genévrier; le *schiedam* des Hollandais est une eau-de-vie de grains.

Le *kirsch* provient des cerises sauvages, le quetsche est fait avec des prunes.

Le *rhum* est le résultat de la fermentation et de la distillation du jus de canne à sucre; le *tafia*, moins fin, est donné par la mélasse du sucre de canne.

Les *liqueurs* sont des alcools aromatisés et *sucrés*; exemples : l'*anisette*, le *kümmel*, le *curaçao*, etc.

Tous ces produits, consommés après le repas, empâtent la bouche, troublent et ralentissent la digestion, contrairement à une opinion très répandue, et font naître une soif artificielle qui ne peut ensuite être étanchée que par l'absorption consécutive d'une masse liquide venant encore perturber l'action des sucs digestifs et fatiguer l'estomac.

**Notions statistiques.** — On évalue la production totale de l'alcool, en France, à plus de deux millions et demi d'hectolitres dont la majeure partie provient de la betterave ou de la mélasse, puis des grains et enfin des vins et des cidres. Notre pays a le triste privilège de tenir le premier rang, dans le monde entier, pour la consommation annuelle par tête d'habitant. Sous ce rapport, la Normandie se distingue particulièrement, et l'on cite un petit village de 300 habitants, dans l'Eure, qui a un cabaret par 23 personnes et absorbe 4.000 litres d'eau-de-vie de cidre par mois ! Le tableau ci-dessous met en regard

le chiffre de la population et la consommation de l'alcool dans ce département, à un demi-siècle d'intervalle.

Département de l'Eure.

ANNÉE.	POPULATION TOTALE.	CONSOMMATION PAR TÊTE	
		EN EAU-DE-VIE.	ÉQUIVALENT EN ALCOOL ABSOLU.
1850	426 000	4 litres.	2 litres environ.
1900	340 000	40 —	20 — —

Ces belles contrées sont maintenant sous l'influence dépravatrice et homicide de l'alcool et, en même temps que diminuent les naissances, on voit augmenter la foule des incapables, des suicidés, des aliénés et des criminels, triste déchet humain dont la charge incombe lourdement aux honnêtes gens sobres et travailleurs qui, seuls, sont en état d'acquitter l'impôt.

**Notions sur la législation et le régime fiscal des liquides alcooliques.** — Les liquides alcooliques, ainsi que le sucre et un certain nombre d'autres denrées, sont soumis au paiement des droits et impôts perçus par la *Régie*, ou Administration des contributions indirectes. Celle-ci divise les liquides alcooliques en trois classes, savoir :

- 1° Les *spiritueux*, ou *alcools*, qui ne contiennent pas de sucre ;
- 2° Les *boissons alcooliques*, dites hygiéniques ; ce sont : le vin, le cidre, le poiré, les hydromels ;
- 3° Les *liqueurs*, ou alcools aromatisés et sucrés.

Nul ne peut se livrer au commerce des boissons, à la production de la bière ou des spiritueux, sans faire au préalable une déclaration à la Régie et se soumettre au paiement d'une *licence*. Cette dernière est une permission spéciale d'exercer la profession ; elle est distincte et superposable à la *patente*, et entraîne les assujettissements suivants :

- A) La perception d'un *droit* ;
- B) L'*exercice*, c'est-à-dire la surveillance de l'Administration représentée par ses agents.



Quant aux alcools et spiritueux, ils acquittaient autrefois, outre divers droits d'entrée et d'octroi, un *droit général de consommation* de 220 francs par hectolitre d'alcool pur. Ces impôts s'accrurent progressivement par la suite et formaient en août 1916 un total de 563 francs par Hl à Paris, pour atteindre en 1917 le chiffre de 600 francs, le tiers de cette somme, soit 200 francs, faisant retour aux communes, le reste formant la part de l'État et perçu par la Régie. Les autres liquides paient les droits ci-dessous :

LIQUIDES	IMPOT	PART DE L'ÉTAT	PART DES COMMUNES
Vins . . .	5 fr. par Hl.	3 fr.	2 fr.
Cidres . . .	2 fr. 50.	1 fr. 60	0 fr. 90
Bières . . .	1 fr. par degré à l'Hl.	0 fr. 50	0 fr. 50

Des dispositions spéciales et moins onéreuses que pour l'alcool de bouche s'appliquent aux *alcools dénaturés* destinés aux usages industriels et additionnés, pour éviter la fraude, de substances telles que le méthylène, l'acétone, etc., les rendant imbuables. Remarquons qu'au point de vue fiscal le problème de l'alcool est complexe ; qu'il y a nécessité absolue de distinguer entre l'alcool-boisson, dont l'abus est à combattre et engendre le péril national de l'alcoolisme, et l'alcool industriel, matière première d'une foule d'industries et qui constitue une véritable richesse nationale (moteurs à alcool carburé, fabrication d'une grande quantité de produits chimiques et pharmaceutiques, parfums, colorants, etc.). Dans le nord de la France, l'alcool provient surtout des mélasses de sucrerie ; la betterave, qui est le point de départ, donne donc, non seulement le sucre et l'alcool, mais encore des résidus de diffusion avec lesquels on engraisse le bétail ; ce dernier produit de l'engrais au moyen duquel le blé planté ensuite (*rotation* de culture) est obtenu avec de plus hauts rendements à l'hectare. Comme l'on voit, tout se tient : agriculture, industrie, commerce, finances, bien-être des populations, etc.

**Alcool absolu.** — C'est celui qui est absolument dépourvu d'eau, ou alcool *anhydre*, qui répond à la formule chimique



$C^2H^6O$  et qui titre 100° G. L. Par distillation fractionnée poussée à son extrême limite on ne peut dépasser 95° G. L. ; les 5 derniers degrés ne peuvent être enlevés qu'en s'aidant d'absorbants chimiques : d'abord une digestion de 24 heures avec la chaux vive et distillation en présence de cette substance, ce qui permet presque d'atteindre 100° ; les dernières traces d'eau sont enlevées par une distillation en présence de la baryte anhydre.

*Synthèse de l'alcool.* — Faire une synthèse chimique, c'est rassembler dans leur ordre les éléments dont un corps est composé. Toute la difficulté réside dans la découverte du *mode d'action* à mettre en œuvre pour opérer la réunion souhaitée ; ce n'est pas l'étoffe qui manque généralement, c'est la façon de coudre qui constitue le problème. On est guidé dans cette recherche par la connaissance du plan de l'édifice à construire, de cet assemblage que le chimiste appelle la *molécule* du corps et qui est comme l'image en petit de celui-ci. Les pierres de cet édifice architectural sont les *atomes*, les liens qui les cimentent s'appellent *valences* ; ces dernières sont comme la commune mesure des valeurs de cette force spéciale dite *affinité chimique* qui sollicite les atomes et les maintient réunis. L'affinité se manifeste, pour chaque atome, par l'existence d'un nombre *déterminé* de valences, ou liens d'affinité, qui ne doivent pas être comparées à des chaînes inertes et passives, mais plutôt à des *bras de liaison*, vivants et actifs.

Les phénomènes chimiques nous donnent comme l'image d'un monde lilliputien, mais immense, peuplé d'être différents, les atomes qui n'auraient pas tous le même nombre de bras ; les atomes les plus défavorisés, dits *monovalents*, n'ont qu'un bras comme l'hydrogène (H), le chlore (Cl), etc. ; beaucoup ont la chance, si c'en est une, d'en avoir deux, ce sont les êtres *bivalents*, comme l'oxygène (O), le soufre (S), etc. ; quelques-uns, *trivalents*, en ont trois, citons l'azote (Az ou N), l'or (Au), *rex metallorum*, mais qui n'est pas roi sous ce rapport, car il est dépassé par le carbone (C) *tétravalent* (tétra, quatre) ; comme le dieu hindou Vichnou, il a quatre bras qui lui permettent de saisir beaucoup d'atomes, lorsqu'ils se trouvent à

portée de ses mains et de former le nombre énorme et si varié de combinaisons dont l'étude forme la chimie organique, si bien que celle-ci a pu être appelée, à juste titre, la chimie des composés du carbone.

Les chimistes ont pu établir le plan moléculaire de la plupart des corps connus, en tenant compte de la valence des éléments et des propriétés constatées des corps étudiés. Cet arrangement des atomes dans la molécule est représenté par une *formule de constitution*, ou formule développée; celle de l'alcool est la suivante où nous avons figuré conventionnelle-

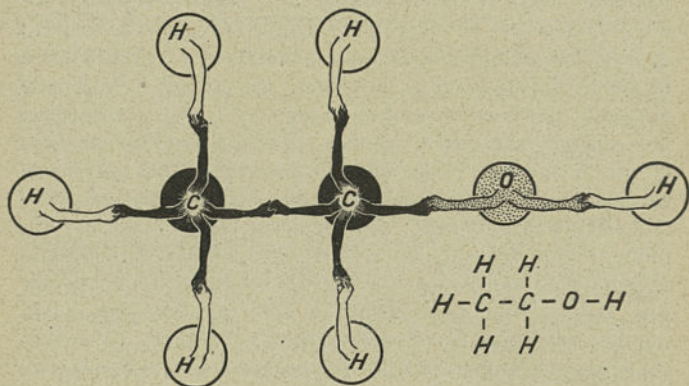


Fig. 301. — Image du plan moléculaire, ou *formule de constitution* de l'alcool, avec les liaisons d'affinité, ou *valences*, des éléments constitutifs.

ment en noir l'atome tétravalent du carbone C, en piqueté l'atome divalent d'oxygène O, et en blanc celui d'hydrogène H qui est monovalent (figure 301). Deux bras dont les mains sont en prise constituent une liaison de deux valences fendues en une seule. Deux carbones échangent volontiers plusieurs valences entre eux quand leurs bras, errant dans le vide, n'ont pu rien saisir; c'est ce qui a lieu dans le gaz *acétylène* (figure 302) bien connu par ses applications à l'éclairage et à la soudure autogène au chalumeau. En chimie, on représente cet arrange-

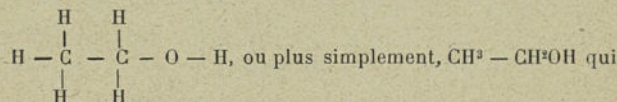
ment par un schéma symbolique où chaque atome est représenté par une lettre (initiale de son nom) appelée *symbole*, et chaque valence (libre ou fondue dans une autre) par un trait



Fig. 302. — Image du plan moléculaire, ou *formule de constitution* de l'acétylène, avec les liaisons d'affinité, ou *valences*, des éléments constitutifs.

de liaison. Ainsi l'acétylène est le groupement  $H-C \equiv C-H$  ou, plus simplement encore,  $CH \equiv CH$ , ou même  $C^2H^2$  (*formule brute*).

L'alcool est



est la formule réduite, ou avec encore moins de précision,  $C^2H^5OH$ , ou enfin par  $C^2H^6O$  tout court qui est la *formule brute*. Le chiffre placé en haut et à droite du symbole d'un élément indique le nombre des atomes correspondants.

La formule brute n'indique pas grand'chose, car elle peut représenter tout autre corps qui serait *isomère* du premier sans en avoir les propriétés, parce que la disposition des atomes ne serait plus la même.

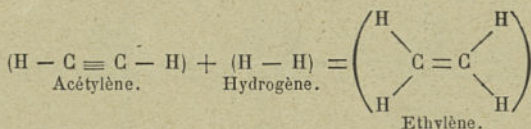
Tous les procédés de synthèse de l'alcool et des autres composés éthyliques ont pour point de départ l'*acétylène*  $C^2H^2$  que l'on obtient par l'action de l'eau froide sur le carbure de calcium  $C^2Ca$ , ce dernier corps étant préparé au four électrique au moyen de la chaux  $CaO$  et du carbone  $C$ .

Une fois en possession de l'acétylène, on ne passe pas d'un seul coup à la molécule d'alcool  $C^2H^6O$ ; il y a une ou deux étapes intermédiaires à franchir : soit fixer d'abord deux hydrogènes  $H^2$ , puis ensuite une molécule d'eau  $H^2O$  ou, inversement,



d'abord  $H^2O$  puis  $H^2$ , ce qui ouvre deux voies d'accès. Ces complications par additions successives sont rendues possibles par ce fait, visible sur les formules que l'acétylène  $C^2H^2$  et l'éthylène  $C^2H^4$  ont leurs molécules *non saturées*, c'est-à-dire que les valences du carbone n'y sont pas toutes utilisées, équilibrées par autant de valences étrangères.

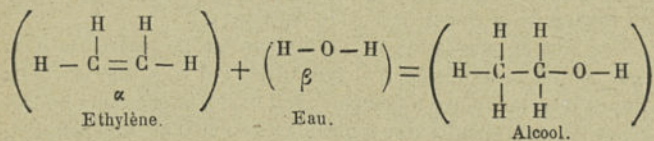
**Première voie.** — Addition d'hydrogène, puis d'eau. L'addition d'hydrogène mène à l'éthylène  $C^2H^4$ ; cette fixation est réalisée facilement maintenant par une méthode due à deux chimistes français MM. Sabatier et Senderens; elle consiste à faire passer le mélange gazeux d'acétylène et d'hydrogène en proportion voulue sur du nickel amené à un état de division extrême, contenu dans un tube de porcelaine chauffé vers  $200^{\circ}$ ; il se produit ainsi une addition des deux gaz, selon l'équation



ou, plus simplement,  $C^2H^2 + H^2 = C^2H^4$ .

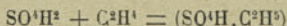
Le nickel divisé sert presque indéfiniment et reste inaltéré, il fonctionne comme *catalyseur*; son rôle consiste à transformer à chaque instant l'hydrogène libre, moléculaire et peu actif  $H^2$  en hydrogène *naissant*, atomique (atomes séparés), plus actif; il ouvre la molécule ( $H-H$ ), rompt la liaison et met en liberté les atomes séparés ( $-H$ ) et ( $-H$ ) plus aptes à réagir.

Il faut ensuite fixer une molécule d'eau  $H^2O$  sur  $C^2H^4$  pour obtenir l'alcool  $C^2H^6O$ ; d'après

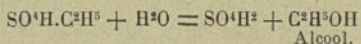


Mais cela ne peut se faire tout seul ; il faut : 1<sup>o</sup> ouvrir les deux bras fondus en un seul  $\alpha$  dans l'éthylène ; 2<sup>o</sup> ouvrir de même les deux bras réunis en  $\beta$  dans l'eau (liaison solide) ; pour cela, divers procédés :

a) Berthelot agitait longtemps l'éthylène avec de l'acide sulfurique, ce qui formait un éther, l'acide sulfovinique  $\text{SO}^4\text{H} \cdot \text{C}^2\text{H}^5$  d'après la réaction

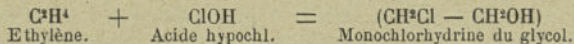


ce qui faisait déjà sauter un atome H, de l'acide sulfurique sur l'éthylène et constituait le radical *éthyle*  $\text{C}^2\text{H}^5$  de l'alcool. Puis Berthelot profitait de l'action décomposante bien connue de l'eau sur les éthers en distillant l'acide sulfovinique avec de l'eau, opération analogue à une *saponification*, et l'alcool prenait naissance :

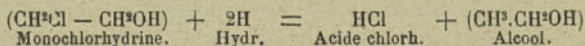


Ce procédé ne semble pas pratique industriellement.

b) Un autre moyen consiste à faire agir sur l'éthylène l'acide hypochloreux qui donne alors la réaction



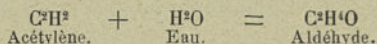
Ce dernier corps, soumis à l'action de l'hydrogène naissant est réduit de son chlore et, de plus, hydrogéné, deux atomes d'hydrogène intervenant, l'un pour enlever l'atome de chlore, l'autre pour prendre la place devenue libre (réaction dite de *substitution*), on obtient ainsi l'alcool :



*Remarque.* — Si, au lieu de l'hydrogène, on fait agir la potasse KOH, on a le *glycol*, ainsi nommé par Würtz qui l'a découvert, parce que, dans la famille des alcools, il occupe une place intermédiaire entre l'alcool ordinaire, qui est un monoalcool et la glycérine qui est un trialcool. Le glycol est un bialcool; nitré comme la glycérine, il donne un explosif, le nitroglycol, analogue à la nitroglycérine, et que les Allemands, souffrant de la crise des corps gras, fabriquaient et utilisaient pour les mêmes fins.

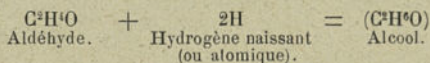
**Deuxième voie.** — Addition d'eau, puis d'hydrogène.

a) L'addition d'une molécule d'eau H<sup>2</sup>O à l'acétylène conduit à l'aldéhyde éthylique, ou aldéhyde ordinaire :



C'est ce qu'on appelle une *réaction d'hydrolyse*; ce n'est pas une juxtaposition pure et simple de l'eau à l'acétylène, car, pour fixer l'eau H<sup>2</sup>O ou H — O — H, répétons qu'il faut d'abord défaire une de ses liaisons; on y arrive en faisant passer un courant d'acétylène dans l'acide sulfurique dilué et opérant en présence d'un sel de mercure qui joue le rôle de catalyseur. C'est toujours la grande difficulté, dans les questions de synthèse, de découvrir le procédé particulier propre à réaliser la réaction cherchée; nous avons appelé cela *savoir coudre*.

b) L'aldéhyde n'est pas autre chose que de l'alcool déshydrogéné (d'où son nom); il n'y a donc plus qu'un échelon à gravir: opérer une hydrogénation, laquelle est facile par la méthode de Sabatier et Senderens: dans un tube chauffé à 140° et contenant du nickel divisé, on fait passer un mélange en proportion convenable d'hydrogène et de vapeur d'aldéhyde :

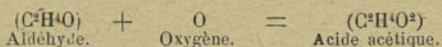


c) On peut aussi hydrogéner au moyen de l'amalgame de sodium agissant sur l'aldéhyde en solution alcoolique, mais il



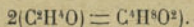
faut ajouter de l'acide acétique pour empêcher la liqueur de devenir alcaline, sans quoi l'aldéhyde se *polymériserait*, c'est-à-dire que plusieurs de ses molécules se réuniraient entre elles pour former un corps nouveau. Cette méthode paraît moins pratique que la précédente.

d) On peut obtenir l'acide acétique et l'anhydride de même nom par *oxygénation* douce et ménagée de l'aldéhyde, l'oxygène étant fourni soit par un mélange oxydant convenable, soit par l'air en présence du platine ou du nickel divisés :

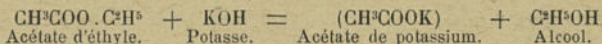


Cet acide agissant à son tour sur l'acétylène dans des conditions convenables, en présence d'un sel de mercure comme catalyseur, donne l'anhydride acétique, ou acide acétique anhydre, précieux pour la transformation de la cellulose en acétate de cellulose avec lequel on fabrique de la soie artificielle, des films cinématographiques peu inflammables, un vernis pour ailes d'aéroplanes, et une foule d'objets où il remplace le celluloid.

e) Enfin l'éthylate d'aluminium agissant comme catalyseur sur l'aldéhyde, provoque la soudure de deux molécules de celle-ci pour aboutir à la formation d'une molécule nouvelle, l'*acétate d'éthyle* ( $\text{CH}^3.\text{COOC}^2\text{H}^5$ ) ou  $\text{C}^4\text{H}^8\text{O}^2$  :



Ce dernier corps étant un éther, il suffit de le *saponifier*, c'est-à-dire de le chauffer avec un alcali, potasse ou soude, pour mettre en liberté l'alcool, recueillable par distillation :



*Remarque.* — Les divers procédés de synthèse dont il vient d'être question ont été tentés dans divers établissements chimiques français et étrangers. La difficulté n'est pas seulement

d'ordre chimique, mais encore économique. Une mise au point pratique est nécessaire. On part de l'acétylène et de l'hydrogène, il faut donc, pour que l'alcool de synthèse puisse lutter contre celui de fermentation, que le prix du carbure de calcium et celui de l'hydrogène, et par suite celui de l'énergie électrique, s'abaissent suffisamment pour permettre d'atteindre un prix de vente assez bas, mais encore rémunérateur.

**Bouilleurs de cru.** — Dans les États modernes, s'il est un principe de justice qui paraît indiscutable, c'est celui en vertu duquel tout le monde est soumis à la loi et à l'impôt. Eh bien ! il existait cependant en France, pays qui a versé tant de sang pour l'abolition des anciens privilèges, toute une catégorie de citoyens exonérés des impôts qui frappent si lourdement l'alcool. Ces personnages privilégiés étaient les *bouilleurs de cru*, ainsi appelés parce qu'ils avaient le droit de fabriquer des alcools ou des eaux-de-vie par la distillation exclusive des produits récoltés sur leur propre domaine, à charge seulement d'une simple déclaration préalable de leurs alambics.

Cet alcool, d'ailleurs mal rectifié et très nuisible, *contrairement à l'opinion commune*, ne payait de droits que s'il sortait de la propriété pour circuler et être vendu. Ce privilège fut sur le point d'être supprimé en 1906 à la demande du gouvernement<sup>1</sup>, mais la Chambre des députés le rétablit en un tour de main à la veille des élections ; qu'en restera-t-il définitivement après la grande guerre mondiale ? Il est probable qu'un nouveau statut, tempéré par des atténuations transitoires, fera rentrer les bouilleurs dans le droit commun en les assujettissant au contrôle de la Régie et à l'impôt, tendant ainsi à la suppression graduelle d'un privilège, véritable *prime à l'alcoolisme en famille* et qui engendrait une fraude colossale, connue de tout le monde en général, et des pouvoirs publics en particulier, fraude constituant pour le Trésor public, une perte considérable qui est récupérée sur le dos des autres citoyens.

1. Ministère Rouvier.

## VI. — VINAIGRE

Comme son nom l'indique, ce liquide est obtenu, en France du moins, au moyen du vin qu'on laisse s'aigrir par abandon au contact de l'air dans des conditions convenables sous l'influence d'un microbe qu'il est très facile d'isoler et d'étudier et qu'on appelle le mycoderme du vinaigre, ou *mycoderma aceti* (fig. 303) : l'alcool du vin se trouve oxydé par l'oxygène de l'air et transformé en *acide acétique*, qui est l'élément essentiel du vinaigre. Par leur abondante prolifération, les cellules du mycoderme arrivent à former, à la surface du vin, une pellicule assez épaisse connue sous le nom de *mère du vinaigre*; nom bien choisi car il suffit d'en détacher une petite portion et de la placer dans du vin pour voir celui-ci se transformer en prenant le goût et la saveur acétiques. Ce ferment a absolument besoin d'oxygène, il est essentiellement *aérobie* et, si on l'enfonce dans le liquide, son activité s'arrête. Il ne peut pas vivre, non plus, dans un liquide trop fortement alcoolisé, qui dépasserait par exemple 10° centésimaux; par contre, il peut très bien continuer à subsister dans un liquide dont tout l'alcool aurait été transformé en acide acétique; dans ce cas, cet acide subirait à son tour une décomposition avec production d'eau et de gaz carbonique et le vinaigre deviendrait *plat*.

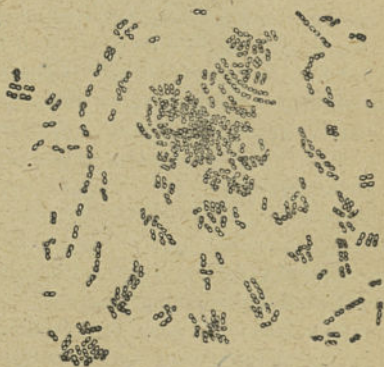


Fig. 303. — Mycoderme acétique.

Ceci posé, il existe divers procédés pratiques d'obtention du



vinaigre, mais au fond, ils consistent tous dans la réunion simultanée des conditions suivantes :

- 1<sup>o</sup> Solution aqueuse alcoolique faible ;
- 2<sup>o</sup> Présence, dans ce liquide, des cellules du mycoderme ;
- 3<sup>o</sup> Existence, à l'état dissous dans le liquide, de diverses substances azotées et phosphatées indispensables au développement du ferment ;
- 4<sup>o</sup> Température favorable d'environ 25 à 30°.

**Procédé d'Orléans.** — On opère avec du vin blanc placé dans des tonneaux disposés horizontalement et munis, sur le côté, de deux larges ouvertures pour le renouvellement de l'air. Au début, on commence par stériliser les fûts en y introduisant du vinaigre bouillant, afin d'empêcher le développement ultérieur des germes étrangers. Après refroidissement jusqu'à 30°, on laisse descendre, par un entonnoir dont la tige traverse la bonde et arrive presque jusqu'au fond, 10 litres de vin blanc préalablement coulé sur des copeaux de *hêtre* ; on a reconnu, en effet, que c'est sur ce bois que se fixent plus volontiers les mycodermes acétiques apportés par l'air ; en filtrant sur ces copeaux, le vin entraîne un certain nombre de ces germes qui, une fois dans le tonneau, vont rapidement transformer l'alcool du vin ; quelques jours après, on remet dix nouveaux litres de vin et ainsi de suite jusqu'à quarante ; on soutire alors un égal volume de vinaigre en évitant de briser le voile qui s'est formé, et on remplace par du vin, en quatre fractions de 10 litres, et ainsi de suite ; la cuve est en marche.

Le vinaigre ainsi obtenu contient de l'eau, environ 6 pour 100 d'acide acétique, de l'alcool non transformé, des éthers, notamment l'acétate d'éthyle, qui lui communiquent un arôme particulier très apprécié, en rapport avec le bouquet du vin qui lui a donné naissance. Ne pas croire, d'ailleurs, que l'on peut faire du bon vinaigre avec du mauvais vin ou des lies. Le procédé d'Orléans donne un produit très apprécié, mais il n'opère que lentement et la cuve peut être envahie, parfois, par des végétations parasites, notamment par des *anguillules*, sorte de petits vers filamenteux qui forcent le mycoderme à s'enfoncer et annihilent ainsi son action.

**Procédé allemand.** — Le liquide employé est de l'eau alcoolisée additionnée d'extrait de malt, pour fournir les matières minérales, azotées et phosphatées indispensables. L'appareil est un tonneau placé verticalement (fig. 304) dans lequel on a introduit des copeaux de hêtre (copeaux à mycodermes) compris entre deux plaques perforées, celle qui est à la partie inférieure formant un faux fond. Le renouvellement de l'air est assuré par l'existence d'un certain nombre de trous O, pratiqués latéralement, un peu au-

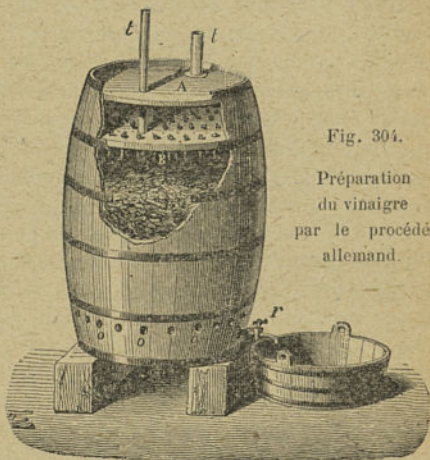


Fig. 304.  
Préparation  
du vinaigre  
par le procédé  
allemand.

dessous du faux fond, et par un tuyau *t*, formant cheminée et traversant la partie supérieure. Le liquide alcoolisé, versé par le tube *t'*, se répand sur la plaque perforée supérieure et coule sur les copeaux de hêtre ; il suffit de trois passages seulement pour arriver à la transformation en vinaigre, mais celui-ci est de goût moins agréable que celui d'Orléans ; de plus il est faible car le procédé comporte une assez grande perte par évaporation de l'acide acétique volatil.

Pour éviter les repassages dans le même tonneau, on dispose les fûts en cascade, trois par trois, les uns au-dessous des autres.

**Procédé luxembourgeois.** — Analogue au procédé allemand, avec cette différence qu'on opère dans des fûts pouvant tourner autour d'un axe horizontal.

**Procédé Pasteur.** — Ce procédé, le meilleur rationnellement, consisterait à opérer aseptiquement par arrivée d'air

filtré sur coton, en cuve plate à grande surface, pour favoriser l'accès de l'oxygène, cette cuve étant *fermée* pour éviter les pertes d'acide acétique par évaporation.

**Acide acétique industriel.** — Le bon vinaigre, même très fort, ne dépasse pas une teneur de 7 à 8 pour 100 d'acide acétique, tandis que l'industrie livre des acides, notablement plus riches, qui proviennent du traitement chimique du *pyroligneux brut*. Rappelons, à ce propos, que la distillation des bois en vase clos fournit un résidu de charbon de bois, des gaz combustibles et des vapeurs facilement condensables, séparables en *goudron de bois* et en *pyroligneux brut* (voir sur ce sujet § 2, combustibles artificiels et charbon de bois, chap. II, et fig. 45). Du pyroligneux on retire l'alcool méthylique, ou esprit de bois, l'*acétone* et l'*acide acétique*; dans ce but, le liquide pyroligneux est distillé et ses vapeurs sont reçues dans un lait de chaux qui capte l'acide acétique en formant de l'acétate de calcium soluble; l'alcool à brûler et l'acétone sont séparés par distillation fractionnée. Quant à l'acétate de calcium, il est traité par le sulfate de sodium, d'où formation d'acétate de sodium, facilement cristallisable, qu'on purifie par fusion ignée et qui, étant ensuite traitée à chaud par l'acide sulfurique, laissera distiller l'acide acétique concentré qu'on recueillera dans un réfrigérant.

---



## CHAPITRE VI

# INDUSTRIES DU VÊTEMENT ET DE LA TOILETTE

SOMMAIRE. — *Lin.* — *Chanvre.* — *Coton.* — *Laine.* — *Soie.* — *Notions sur la filature.* — *Tissus.* — *Notions sur les apprêts des tissus, la teinture, le blanchiment et l'impression des étoffes.* — *Chapellerie.* — *Cordonnerie.* — *Ganterie.* — *Aiguilles et épingles.* — *Boutons.* — *Brosses et peignes.*

### I. — MATIÈRES TEXTILES : LIN, CHANVRE, COTON, LAINE, SOIE

On donne le nom de *textiles* aux matières fibreuses, souples et résistantes qui servent à fabriquer les étoffes. Ces matières peuvent être d'origine végétale ou animale.

**Textiles végétaux.** — Les plus usités sont le *lin*, le *chanvre*, le *jute*, la *ramie* et surtout le *coton*.

1<sup>o</sup> **Lin.** — Le lin, qui est cultivé en grand dans le nord et l'ouest de la France et surtout en Russie, est une jolie plante annuelle à fleurs bleues (fig. 305), utile par sa graine, qui fournit de l'huile, et par sa tige, dont on extrait une fibre susceptible de fournir, par le tissage, une *toile* très fine. La plante, après avoir été arrachée, est liée en gerbes, puis séchée, et ses sommités sont *égrugées* c'est-à-dire déchirées avec une pièce de bois appelée *batte*. Les gerbes sont



Fig. 305. — Lin usuel cultivé.

ensuite soumises à une opération importante, le *rouissage*, dont le but est de séparer les fibres textiles des substances *pectiques*, ou gommeuses, qui les entourent et les cimentent entre elles; on y arrive en provoquant la fermentation de ces matières pectiques par certains microbes qui se développent



Fig. 306. — Rouissage du lin.

abondamment pendant le rouissage, en respectant les fibres, mais en détruisant les gommés.

Il y a deux modes de rouissage, l'un dans l'eau, à l'abri de l'air, l'autre à l'air libre.

A) *Rouissage dans l'eau*. — On immerge les gerbes dans l'eau d'un ruisseau ou d'une mare, pendant une dizaine de jours, en les maintenant par quelques lourdes pierres (fig. 306), les microbes anaérobies agissent peu à peu, transforment et dissolvent les matières pectiques et il ne reste bientôt plus,

dans les tiges, que la fibre textile, ou filasse, et une partie ligneuse appelée *chênevotte*.

B) *Rouissage à l'air (ou sérénage, rouissage à la rosée)*. — Le lin est étalé sur les prés, pendant la belle saison, et exposé ainsi à l'action de l'air, de la rosée, de la pluie (arrosages fréquents, au besoin) et de certains microbes aérobies qui attaquent la gomme. Les gerbes sont ensuite séchées, puis *soumises* au *teillage* qui consiste à broyer les tiges pour briser la *chênevotte*, tandis que la fibre résiste, et ensuite à un premier *peignage*, pour éliminer la *chênevotte* adhérente et isoler les fibres en filaments parallèles. Nous reviendrons sur ce sujet à propos

de la filature ; disons seulement qu'on obtient ainsi la *filasse de lin* avec laquelle on peut fabriquer de la toile très fine et très blanche, de la batiste, de la dentelle, etc.

Les *étoupes* sont les fibres courtes que retient le peigne ; elles sont utilisées pour la confection de cordes ou de tissus grossiers.

Les fibres du lin, examinées au microscope, se montrent sous l'aspect de filaments cylindriques interrompus par des nœuds (fig. 307).

### 2<sup>o</sup> Chanvre. —

La préparation des fibres est tout à fait analogue à celle qui vient d'être exposée pour le lin. Le chanvre donne un fil plus grossier que celui du lin, mais extrêmement solide et résistant à la pourriture que

tend à développer l'humidité ; aussi est-il employé exclusivement en corderie et en voilerie.

3<sup>o</sup> Coton. — Le cotonnier ne croît que dans les pays tropicaux ; il est cultivé surtout dans la partie méridionale des États-Unis, le Mexique, le Brésil, les Indes, l'Égypte, etc. Son fruit, gros comme une noix, contient plusieurs graines après lesquelles adhèrent les houppes de duvet blanc ; celles-ci font saillie au dehors (fig. 308) quand le fruit s'ouvre à la maturité. Avant d'être expédiées ces houppes doivent être *égrenées*, c'est-à-dire dépouillées de leurs graines dont l'huile viendrait graisser et jaunir le coton. On distingue les *longues soies* dont les filaments ont 3 à 4 centimètres de longueur, et les *courtes soies*. Ces fila-

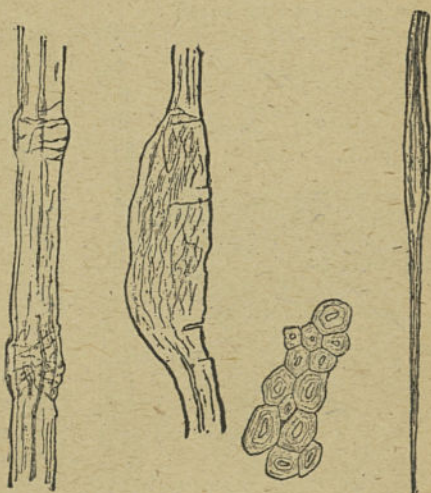


Fig. 307. — Fibres de lin grossies 200 fois.



ments, examinés au microscope, sont plats, rubanés et souvent contournés (fig. 309).

Chimiquement, les fibres végétales bien dépouillées par divers traitements des matières étrangères, sont constituées par une substance appelée *cellulose*, parce qu'elle forme la majeure partie des parois des *cellules* végétales.

4° Autres textiles végétaux. — Citons en-



Fig. 308. — Fleur et fruit du cotonnier.



Fig. 309. — Fibres de coton grossies 200 fois.

core : la *ramie*, ou ortie de Chine, avec laquelle on fabrique de très belles étoffes, comme la batiste de Canton.

Le *jute*, des Indes et de la Chine, qui sert à faire des toiles à sacs ou d'emballage, des treillis, des tapis, etc. Il est moins tenace que le chanvre et pourrit plus facilement à l'humidité.

L'*alfa*, qui croit en si grande abondance sur les plateaux algériens et sert à la fabrication du papier, des cordages, du crin artificiel, etc.

Le *sparte*, abondant en Espagne, avec lequel on fabrique des

*sparteries* : nattes, tapis de pieds, mannes d'emballage, des tapis-brosses, etc.

*Statistique.* — La Russie produit plus de 700 000 tonnes de lin et plus de 400 000 tonnes de chanvre. Les chiffres relatifs à la France sont respectivement 20 000 et 14 000 tonnes.

La production mondiale du coton est de 4 700 000 tonnes se répartissant ainsi : États-Unis 2 500 000, Indes anglaises 600 000, Égypte 200 000, etc.

*Textiles d'origine animale.* — Ce sont la laine et la soie.

1<sup>o</sup> Laine. — La laine est la toison des ruminants, famille des *ovidés* : moutons, chèvres, etc. Cette toison comprend deux sortes de poils, absolument comme celle du lapin. (Voir antérieurement, *fourrures* : le duvet ondulé et souple qui est la laine proprement dite, et les *jars*, poils longs et rudes qui émergent du précédent.)



Fig. 310. — Bélier mérinos.

La laine *sur pied* est imprégnée d'une exsudation de l'animal à laquelle on donne le nom de *suint* ; celui-ci est composé principalement d'une matière grasse et de sels minéraux où domine le carbonate de potassium.

Les plus belles laines de mouton sont fournies par la race *mérinos* (fig. 310) qui est très répandue en Europe, pure ou croisée.

Avant la tonte, les moutons étaient autrefois lavés à la rivière, on perdait ainsi la potasse de suint ; comme c'est une substance d'une certaine valeur, on effectue maintenant ce lavage, ou *désuintage*, de façon à ne pas perdre le liquide. La figure 311 représente une installation de ce genre, dans une grande ferme australienne. Après la tonte, la laine est dégraisée et soumise à l'*épauillage*, qui consiste à la chauffer avec de l'acide chlorhy-



drique étendu pour dissoudre les petits brins de paille adhérents. Après rinçage et séchage à l'ombre, elle subit l'opération de l'*ensimage*, c'est-à-dire une légère imprégnation d'huile afin de

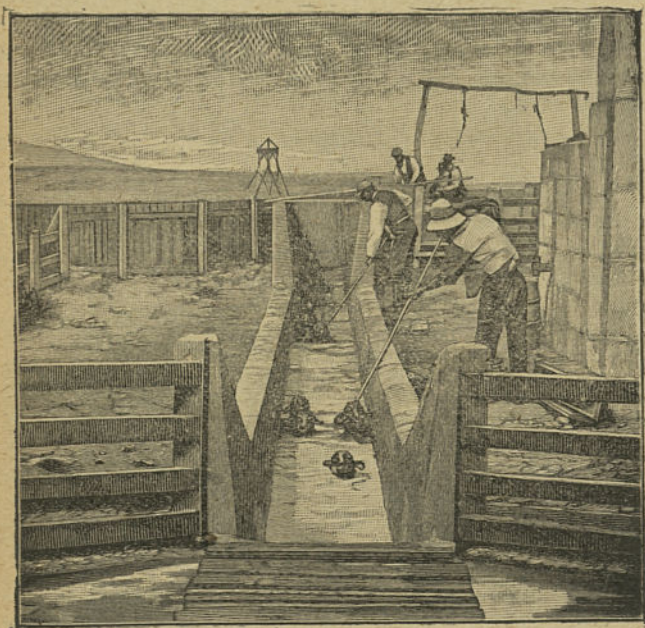


Fig. 311. — Lavage des moutons en Australie.

lui permettre de résister sans se briser au travail ultérieur de filature.

Examinée au microscope, la fibre de laine n'est pas unie ; elle paraît constituée par une série de tronçons écaillés emboîtés les uns dans les autres (fig. 312). Ces tronçons, formés par une substance appelée *kératine*, laissent entre eux des petits rebroussements, ou crochets, qui expliquent la propriété du *feutrage*, spéciale à la laine : si celle-ci est foulée, pétrie et frottée contre elle-même, surtout en présence de l'eau chaude qui amollit la



matière, les fibres s'enchevêtrent et s'accrochent les unes aux autres en formant une sorte de tissu à mailles confuses qu'on appelle le *feutre*.

La valeur marchande d'une laine dépend de sa longueur, de sa finesse, de sa souplesse et de sa couleur. Le *cachemire* et l'*alpaga* sont de belles matières textiles provenant respectivement, la première d'une *chèvre* de l'Himalaya, la seconde du *tama* du Pérou.

La production mondiale est de 1 069 000 tonnes dont le tiers est fourni par l'Australie, le restant par l'Argentine et l'Amérique du Nord.

2<sup>o</sup> *Soie*. — La soie est produite par la larve, ou chenille, communément et improprement appelée *ver à soie* (fig. 313), qui se



Fig. 312. — Fibres de différentes laines.

nourrit des feuilles de mûrier blanc. Cette chenille, arrivée à sa grosseur définitive, s'emprisonne elle-même dans un *cocon* qu'elle construit au moyen d'un fil; celui-ci résulte de la solidification d'un liquide visqueux, la *fibroïne*, qui sort de deux glandes placées dans le voisinage de la tête en formant deux brins qui se soudent en un seul fil entouré par une matière appelée *séricine*. Au bout de quelques semaines, la *chrysalide* (fig. 314), à la suite d'un travail vital intérieur, s'est transformée en papillon, perce le cocon et sort de sa prison. Par la suite, l'animal pond une quantité de petits œufs, appelés *graines*, d'où sortiront de nouvelles larves à la saison prochaine.

Le cocon est formé par l'enroulement d'un *fil unique et ininterrompu* de plusieurs centaines de mètres de longueur; la sortie du papillon coupe ce fil en un grand nombre de tronçons.

C'est donc un accident qu'il faut éviter en tuant la chrysalide avant son éclosion ; on y arrive en immergeant les cocons dans l'eau bouillante, ce qui a en outre pour effet de ramollir la séricine ; des ouvrières ayant de bons yeux cherchent l'extrémité du fil et,



Fig. 313. — Larve du bombyx appelée vulgairement « ver à soie ».

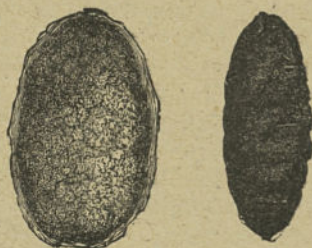


Fig. 314. — Cocon du « ver à soie » et sa chrysalide.

l'ayant saisie, déroulent le cocon et renvoient immédiatement sur un dévidoir en rassemblant entre eux plusieurs fils qui se soudent par la séricine. Cette soie dévidée s'appelle la *soie brute* ou *soie grège*.



Fig. 315. — Brins de soie vus au microscope.

La soie, examinée au microscope, se présente sous l'aspect d'un fil *lisse* et *cylindrique* (différence avec la laine) comme le montre la figure 315.

Après avoir été soumise aux opérations de filature, la soie est *décreusée*, c'est-à-dire traitée par une solution bouillante de savon, dans le but d'éliminer la *séricine* et une matière appelée *grès*, qui enrobent la véritable soie, ou *fibroïne*, et empêcheraient celle-ci de prendre convenablement la teinture.

#### **Conditionnement des soies.** —

La soie peut contenir plus ou moins d'eau qui ne doit pas



entrer en ligne de compte pour la détermination du prix de la marchandise, celle-ci se payant au poids.

C'est pourquoi la soie est *conditionnée*, c'est-à-dire que sa teneur en eau est déterminée officiellement par des établissements appelés *Conditions publiques des soies*. On pèse un échantillon, puis on l'abandonne dans une étuve chauffée vers 105° à 110° jusqu'à ce que son poids demeure invariable : la perte de poids représente l'eau partie. Des considérations analogues sont applicables aux autres textiles.

*Statistique.* — Production mondiale 37 000 tonnes se répartissant ainsi : Chine, 16 000 ; Japon, 12 000 ; Italie, 4 000 ; France, 600 ; etc.

*Distinction des diverses fibres.* — On peut utiliser l'observation microscopique ou encore les réactifs chimiques.

La laine et la soie sont solubles dans une solution bouillante de potasse, tandis que les fibres végétales y demeurent intactes. Par contre, la *cellulose*, qui forme le coton et autres textiles végétaux, est soluble dans la *liqueur de Schweitzer*, obtenue en agitant du cuivre dans l'ammoniaque au contact de l'air, tandis que les fibres animales y sont insolubles. La laine se distingue d'ailleurs aisément de la soie en ce qu'elle contient du soufre, décelable chimiquement.

*Soie artificielle.* — La beauté et la cherté de la soie ont incité les chercheurs à fabriquer artificiellement des matières qui en rappellent l'aspect et les propriétés. Plusieurs solutions ont été proposées et ont abouti à des résultats industriels. La soie *Chardonnet* est obtenue en filant du *collodion* à travers des tubes capillaires et dénitrant ensuite les fils par des sulfures réducteurs pour les dépouiller de leurs vertus explosives. La soie dite *viscose* se prépare en traitant la cellulose (coton) par la soude, puis par le sulfure de carbone, filant la viscose à travers des orifices capillaires et recevant les fils dans une solution saline coagulante. On fabrique encore de la soie artificielle en dissolvant la cellulose (coton) dans la *liqueur de Schweitzer*, filant en tubes capillaires et recevant les fils dans l'acide sulfurique étendu. La soie artificielle prend des teintes magnifiques, mais elle n'a pas la résistance de la soie naturelle, surtout lorsqu'elle est mouillée.



## II. — NOTIONS SUR LA FILATURE

Étant en possession d'une matière textile dont on veut faire un tissu, une étoffe, il faudra préalablement lui faire acquérir la forme d'un *fil* cylindrique, régulier et continu : c'est le but des diverses opérations de *filature*. Après celle-ci, viennent généralement celles du tissage, du blanchiment et de la teinture.

## Filature de la soie.

La filature de la soie est assez simple, en principe, par la raison que le fil élaboré par la chenille est déjà tout formé et très long (plusieurs centaines de mètres); mais on ne peut pas l'employer tel quel et nous avons vu tout à l'heure que, dans l'opération du *tirage* ou *dévidage* du cocon, on réunit déjà six, huit, dix fils naturels et plus, agglutinés par la séricine, ce qui donne un fil de *soie grège*; les brins de cette soie ne sont donc que collés ensemble par la gomme ou séricine, et ils ne pourraient aucunement entrer en travail sans avoir été renforcés et surtout tordus; ces pratiques ont pour effet d'augmenter la résistance du fil et d'empêcher les brins constitutifs de se dissocier quand on procédera au *décreusage* et au lissage. On voit par là toute l'importance que prend l'opération du *moulinage* qui consiste précisément à faire subir à la soie les modifications indiquées.

**Moulinage de la soie.** — La soie grège subit d'abord divers traitements en vue de l'assouplir et de la régulariser, puis elle passe au moulinage. Le *moulin à tordre* est représenté, dans ses organes essentiels, par la figure 316; la soie est enroulée sur une bobine libre autour de son axe représenté par une tige qui porte divers crochets ou *barbins*, dans les boucles desquels le fil est obligé de passer, avant d'aller s'enrouler sur

une autre bobine dite *roquette*. Si nous faisons tourner rapidement l'axe sur lui-même, il entraînera les barbins qui dévideront la soie grège en la tordant ; il suffira alors d'attirer celle-ci en communiquant aussi à la roquette un mouvement de rotation convenable, et la soie moulinée s'envidera. La torsion unique ainsi imprimée à la soie grège transforme celle-ci en un fil appelé *poil*.

Des machines d'*ouvraison*, dispositifs plus compliqués, mais qui dérivent du même principe, permettent de réaliser un doublage, c'est-à-dire de réunir deux des fils tordus précédents ou poils, par un nou-

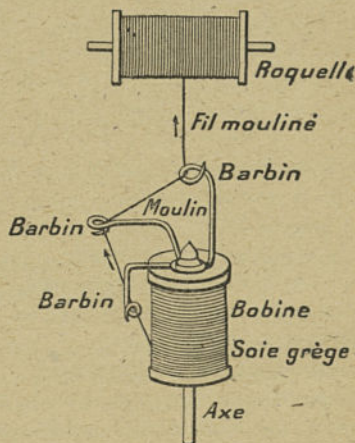


Fig. 316. — Moulinage de la soie.

veau moulinage et une nouvelle torsion fournissant un fil plus résistant, appelé fil de *trame* (fig. 317). Enfin, par un troisième moulinage, on peut encore assembler et tordre deux ou plusieurs des fils précédents et obtenir un fil en torsade, très résistant, appelé *organsin* (fig. 317) qui est employé comme *chaîne* dans le tissage. On fait ensuite passer la soie moulinée à la vapeur, pour annihiler sa tendance à la détorsion qui aurait pour effet de brouiller les fils.

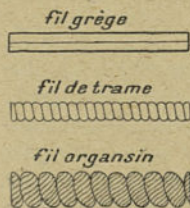


Fig. 317.

**Flottage.** — Le flottage consiste à dévider le fil qui est sur les roquettes et à le renvider sur des *guindres*, sortes de

tambours à claire-voie, d'où on peut le sortir sous forme d'*écheveaux* ou *flottes*. Ceci est indispensable pour la réussite des diverses opérations de cuite, de décreusage et de teinture, dans



lesquelles le liquide du bain doit pouvoir pénétrer librement entre tous les brins de fil. Le débouillissage ou décreusage consiste à immerger les écheveaux pendant quatre heures dans un bain de savon en ébullition ; ce traitement a pour effet d'enlever la matière gommeuse et de faire acquérir à la soie l'éclat, la flexibilité et l'aptitude à recevoir le mieux possible la teinture. Le décreusage, malheureusement, est accompagné d'une diminution de poids d'environ un quart.

**Schappes.** — Les déchets de soie sont transformés en fils appelés *schappes* servant à fabriquer des articles bon marché. La filature de ces déchets est tout autre que celle de la soie elle-même, elle est évidemment plus compliquée et a des analogies avec celle des textiles courts, laine et coton ; elle comprend notamment un lubrifiage par l'eau savonneuse et huileuse, un peignage et un filage.

**Numérotage commercial.** — Le numéro d'une soie indique combien une longueur de 475 mètres de fil (correspondant à l'ancienne mesure de 400 aunes) pèse de *grains* (1 grain équivalait à 0 gr. 0531). On emploie aussi maintenant des numéros métriques (poids en grammes de 10 kilomètres de fil). Les schappes se numérotent par le nombre de kilomètres de fil pesant 1 kilogramme.

## Filature du coton.

**Préambule.** — Nous avons commencé par exposer la filature de la soie à cause de sa simplicité relative, due à la longueur énorme de la fibre élémentaire primitive. Cette simplicité disparaît pour les autres textiles dont les filaments n'ont que quelques centimètres de longueur. Une des matières sur lesquelles s'est exercée l'ingéniosité humaine dès la plus haute antiquité est le *lin*, ou encore le *chanvre*, dont nous ne nous occuperons cependant qu'après le *coton*. Si en effet, historiquement, on a su filer *manuellement* le lin avant le coton, il faut savoir que la filature *mécanique* de ce dernier a précédé celle de nos textiles indigènes. Et pourtant, l'idée première de la plupart des procédés



employés mécaniquement dérive d'un mode opératoire anciennement mis en œuvre par la main de l'homme, mais dont la simplicité primitive est masquée par la complexité des appareils et la superposition des détails de perfectionnement. On peut même dire que c'est la somme de tous ces petits détails qui constitue l'édifice imposant qu'est cette grosse industrie manufacturière, la filature moderne.

Au fond, les conditions principales à remplir pour transformer en *fil* une *étoupe* de filaments enchevêtrés, se réduisent aux deux suivantes :

1<sup>o</sup> Ordonner les fibres parallèlement les unes aux autres ; soit faire succéder l'ordre au désordre ;

2<sup>o</sup> Tordre ensemble plusieurs de ces fibres, de telle façon que leur frottement réciproque s'oppose à leur séparation lorsqu'on essaye de les séparer par traction.

Ces conditions étaient parfaitement remplies par les procédés primitifs de filage qui consistaient dans l'emploi de la *quenouille* et du *fuseau*. La première était un bâton quelconque supportant une certaine masse de filasse (lin, chanvre, coton), enroulée grossièrement (fig. 318). La fileuse, tenant la quenouille sous son bras gauche, et prenant une petite masse de fibres entre le pouce et l'index de chacune des deux mains, *tirait en tournant*, ce qui disposait d'abord les filaments parallèlement et ensuite les tordait ; le fil ainsi obtenu soutenait un fuseau mis en mouvement constant de rotation, ce qui amenait une nouvelle et complémentaire torsion du fil ; celui-ci était ensuite enroulé. Ce procédé est encore usité par les naturels de l'Indoustan pour filer le coton. C'était celui répandu partout, en France et en Europe, encore au *xvii<sup>e</sup>* siècle, jusqu'à l'apparition du *rouet* (fig. 319). Cette machine, qui nous ferait peut-être sourire par sa simplicité, est cependant une invention géniale ; elle réalise la *torsion automatique*, au moyen d'une broche, absolument

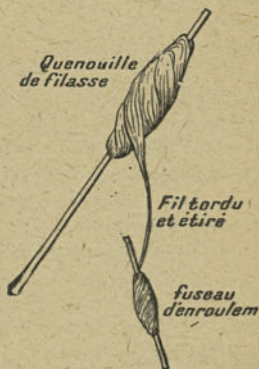


Fig. 318. — Le filage primitif.

comme dans nos modernes engins ; elle contient un mouvement différentiel de la broche et de la bobine, le principe du volant régulateur par son grand rouet, et le germe des transmissions par bielle et manivelle au moyen de son pédalier ; dans cette machine, l'ancien fuseau est remplacé par une bobine mise en mouvement de rotation au moyen d'un cordon sans fin passant sur le rouet ; dans l'axe creux de cette bobine passe une tige ou broche portant deux ailettes garnies de crochets ou épingliers (fig. 319, b) ; cette broche pouvant

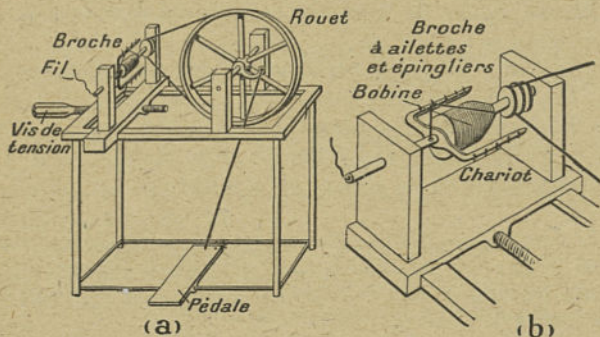


Fig. 319. — L'invention du « rouet » pour le filage.

tourner d'un mouvement beaucoup plus rapide que la bobine, le fil produit par le tirage de la fileuse sur la quenouille vient s'enrouler sur la bobine après avoir préalablement été tordu par la rotation de la broche.

Si nous avons cru devoir signaler cet appareil complètement oublié, c'est, répétons-le, qu'il contient en germe tout ce que nous demandons d'essentiel à nos machines modernes si compliquées et que, par suite, il est très apte à jeter quelque lumière sur ces dernières. Il suffirait, en effet, de remplacer le pied de la fileuse par un moteur, de placer la broche et la bobine verticalement en perfectionnant le rapport de leurs vitesses respectives, enfin d'imaginer un dispositif automatique d'étirage, remplaçant les doigts, et relié au mécanisme précédent ; on aurait ainsi un métier à filer très rapproché de ceux de nos modernes filatures.

Ces préliminaires une fois exposés, l'esprit est préparé pour aborder l'étude de la filature, question si complexe par la pro-



digieuse multiplicité des détails ; nous passerons la plus grande partie de ceux-ci sous silence, ne voulant nous borner ici qu'aux faits véritablement essentiels.

D'une manière générale, une masse de filaments textiles disposés et enchevêtrés sans aucun ordre, coton en balles, laine, lin ou chanvre en étoupes, etc., n'arrivera à l'état de fil régulier qu'après avoir passé successivement à l'état de *nappe*, puis de *ruban*, ensuite de *mèche* légèrement tordue et enfin de *fil* achevé. Ce résultat ne sera atteint qu'après une série de redressements au moyen de peignes ou de cardes, de laminages, d'étirages et de torsions.

**Filature du coton.** — 1<sup>o</sup> **Battage et ouvrage.** — Une très grande difficulté provient de ce que les filaments de ce textile sont fort courts, très emmêlés et souillés de matières étrangères. Celles-ci sont d'abord éliminées par l'*ouvrage*, le *battage* et le *démêlage* qui consistent à *ouvrir* la masse du coton comprimé, au moyen des palettes d'une machine spéciale, et à y envoyer le courant d'air produit par un ventilateur, de façon à emporter les poussières. Ensuite l'étope emmêlée, ainsi obtenue, subit l'action d'un *batteur-étoileur* qui la transforme en une sorte de nappe appelée *ouate*.

Les opérations subséquentes auxquelles il faut se livrer sont, maintenant, le *cardage*, l'*étirage* et le *filage* proprement dit.

2<sup>o</sup> **Cardage.** — Son but est de transformer en un *ruban* régulier, composé de filaments rectilignes et parallèles, les nappes d'*ouate* dont les fils sont, comme on vient de le dire, tortillés et emmêlés.

Le moyen employé consiste à faire passer l'*ouate* entre des *cardes* ; ce sont des surfaces placées en regard l'une de l'autre et garnies de dents, ou aiguilles courbes, disposées en sens convenable. L'effet de ces appareils ne peut pas mieux être comparé qu'à celui que produit le cardage de la laine à matelas, ou encore mise en ordre régulier des cheveux par l'action du peigne ou du démêloir.

La figure 320 indique schématiquement le mode d'action des cardes : un grand tambour garni de dents tourne dans le sens de la flèche ; au-dessus de lui une carde dentée le coiffe, d'où le



nom de *chapeau de carde*; des cylindres, dits *fournisseurs*, attirent la nappe et la font pénétrer dans la carde; la nappe est reprise à la sortie par un cylindre armé et s'engage dans une sorte de rétrécissement appelé *couloir* ou *entonnoir*; elle est ensuite aplatie, laminée entre deux cylindres et le *ruban* obtenu tombe dans un pot de forme haute.

On remplace parfois le chapeau de carde, qui est *fixe*, par un

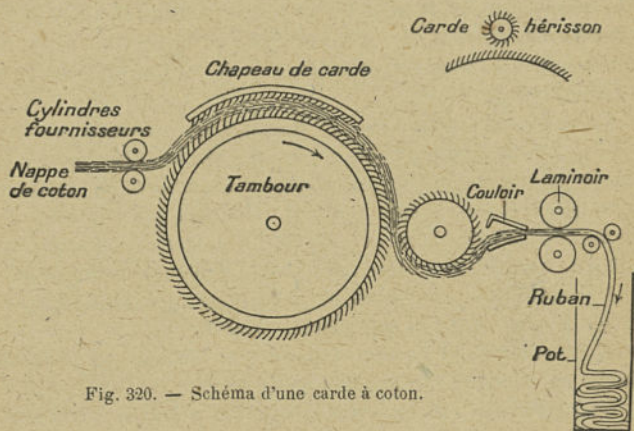


Fig. 320. — Schéma d'une carde à coton.

petit cylindre rotatif armé de dents appelé *hérisson* (voir fig. 320, dessin à part); cette disposition, communément adoptée pour le travail de la laine, ne s'emploie que pour le coton grossier.

Nous ferons remarquer que cette figure, ainsi que les suivantes, sont extrêmement simplifiées; elles sont surtout destinées à faire saisir le *principe* des appareils industriels qui, représentés complètement et rigoureusement, risqueraient de paraître absolument incompréhensibles à petite échelle.

3<sup>o</sup> *Étirage*. — Comme son nom l'indique, cette opération a pour but de *tirer* le ruban précédent, de façon à *redresser* ses filaments et perfectionner leur parallélisme. En même temps, on réunit plusieurs rubans, de façon à *compenser* les variations d'épaisseur qu'ils pourraient présenter respectivement; plus il y

a de rubans, ou de *doublages*, plus l'homogénéité future du fil sera parfaite.

L'appareil qui remplit ce rôle consiste, en principe, en deux paires de cylindres (fig. 321) ; chacune de celles-ci comprend un rouleau supérieur lisse et un cylindre inférieur cannelé. Le ruban est tiré du pot P par les entraîneurs A, B, et passe dans l'entonnoir C où il se mêle avec plusieurs autres rubans non

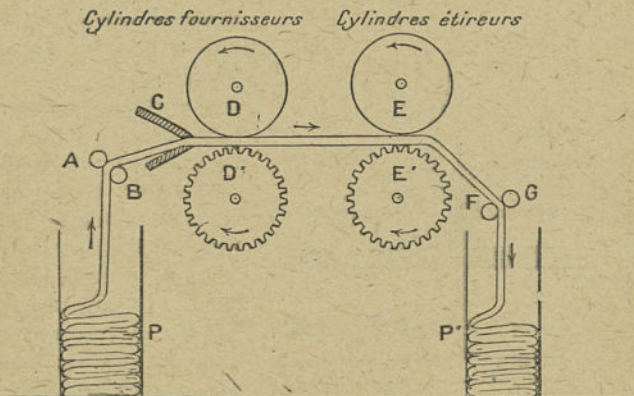


Fig. 321. — Schéma de l'étirage.

représentés ; le faisceau complexe ainsi obtenu passe entre le laminoir DD', puis entre le suivant EE' ; mais, comme la vitesse de rotation des cylindres de ce dernier est plus grande que celle des cylindres du premier, le coton se trouve étiré et ses fibres achèvent de se disposer bien parallèlement ; en raison de ce fait, les rouleaux EE' prennent le nom de cylindres *étireurs*. Plusieurs répétitions successives, accompagnées de *doublages* correspondants, permettent d'obtenir une *mèche* large très régulière et très homogène.

4° Filage proprement dit. — Il s'agit maintenant de transformer en *fil* le ruban, ou plutôt la mèche que l'on vient d'obtenir ; pour cela, il n'y a plus qu'à faire passer celle-ci dans le *métier à filer* ; celui-ci peut être *continu*, ou *intermittent*.

A) *Métier continu.* — On l'emploie lorsqu'on veut obtenir des fils très résistants, tels que ceux qui servent à constituer la *chaîne*<sup>1</sup> des tissus. Ce métier a la plus grande analogie avec l'appareil employé dans la filature du lin et connu sous le nom

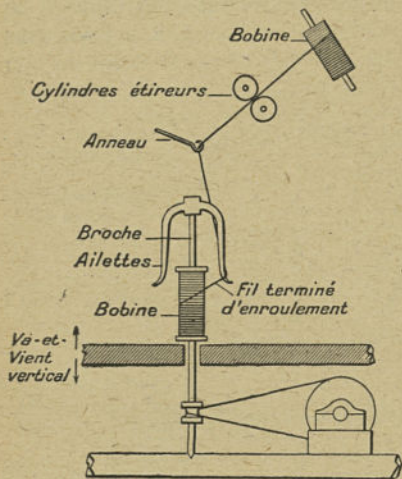


Fig. 322. — Banc à broches pour filage continu.

de *banc à broches*. La figure 322 en donne une idée dans ce qu'il a d'essentiel. La mèche, enroulée sur une bobine à la partie supérieure, est tirée par deux cylindres étireurs, passe dans un anneau de maintien et vient contourner l'une des ailettes adaptées à une tige verticale appelée *broche* ; celle-ci traverse axialement une bobine d'enroulement et est mise en mouvement rapide de rotation au moyen d'une noix à gorge sur laquelle s'enroule un cordon moteur placé à la partie inférieure ; un mécanisme spécial, non représenté, communique à la bobine un mouvement différent de celui de la broche. Dans ces conditions, le fil étant préalablement fixé à la bobine de broche, va s'enrouler sur cette bobine mais, en même temps, subira une torsion d'autant plus marquée que la différence de vitesse de l'ailette et de la bobine sera plus considérable. Le fil est ainsi terminé ; comme on le voit, nous retrouvons le mode opératoire du rouet primitif.

B) *Métiers intermittents.* — Comme le nom l'indique, ces

1. On appelle *chaîne*, l'ensemble des fils longitudinaux de l'étoffe ; la *trame*, au contraire, est formée par les fils transversaux.



métiers effectuent le travail de filage en deux intermittences qui sont les suivantes :

1<sup>o</sup> Dans une première phase, le métier *tire et tord* une certaine longueur de fil, en s'éloignant de la bobine fournisseuse à la distance correspondante ;

2<sup>o</sup> Dans une deuxième phase, l'appareil *renvide*, ou *enroule* le fil ainsi produit, sur une bobine d'enroulement et, en même

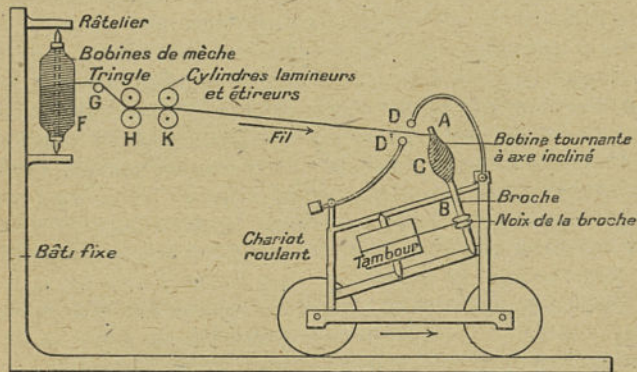


Fig. 323. — Filage du coton au moyen de la *mull Jenny* (schéma très simplifié).

temps, revient vers la bobine fournisseuse. Dans la machine déjà ancienne, dite *mull-Jenny*, le retour se fait sous l'action d'un ouvrier, tandis que, dans les métiers dits *self-acting*, les seuls usités actuellement, le retour se fait automatiquement.

Il suffira, pour comprendre le principe, de décrire la *mull-Jenny* (fig. 323). Il y a deux parties séparées : une fixe et une mobile. La partie fixe se compose d'un bâti supportant un grand nombre de bobines fournisseuses, dont une seule est représentée pour plus de clarté ; la mèche qui s'en échappe passe sur une tringle-support et, de là, s'engage entre deux paires de cylindres lamineurs et étireurs, puis elle quitte la partie fixe et va s'attacher à la partie mobile. Celle-ci se compose d'un chariot mobile sur rails, qui s'éloigne du bâti fixe par un

mécanisme non représenté et avec une vitesse supérieure à celle avec laquelle les cylindres délivrent la mèche. Ce chariot porte une broche AB *oblique* par rapport à la verticale et animée d'un mouvement de rotation autour d'elle-même. Il résulte de cette disposition que, lorsque le chariot s'éloigne tandis que la broche tourne, le fil est à la fois *tendu* et *tordu*. Lorsque la mull-Jenny a ainsi parcouru environ 4 m. 50, elle s'arrête et l'ouvrier la repousse vers le bâti fixe; c'est pendant ce retour, assez lent, que le fil déjà tordu s'embobine sur la broche.

Cette machine, ainsi que sa dérivée automatique, la *self-acting*, a joué un rôle capital dans le développement de la filature cotonnière. Elles sont employées pour l'obtention des fils fins, ce que ne peut faire au même degré le métier à broches qui ne *tire pas* suffisamment la matière sur une longueur aussi grande, et donne des fils plus gros.

Avec le métier *self-acting*, l'ouvrier n'a plus qu'à surveiller les fils et à rattacher ceux qui viennent accidentellement à casser.

Finalement, quel que soit le genre d'appareil qui ait servi au filage, le fil est ensuite dévidé et revidé en échevaux ou flottes.

### Filature du lin, du chanvre, etc.

La filature du lin, du chanvre, du jute et de la ramie présente les plus étroites analogies. L'origine de l'emploi du lin remonte à une haute antiquité, comme en témoignent les bandelettes de toile dont sont entourées les momies égyptiennes. Cette filature se fit exclusivement par les procédés manuels de la *quenouille* et du *fuseau* (fig. 318), jusqu'à l'ingénieuse invention du *rouet* (fig. 319) qui marque une première étape vers le machinisme. Les merveilleux résultats obtenus au commencement du siècle dernier par la filature mécanique du coton, firent concevoir les plus vives espérances relativement au traitement analogue du lin et autres textiles végétaux; on commença par appliquer purement et simplement les dispositifs qui avaient si bien réussi



pour la fibre cotonnière, mais la déception ne se fit pas attendre et la genèse pénible et laborieuse de la filature du lin fait un contraste saisissant avec les progrès si rapides de celle du coton. C'est qu'on finit par se rendre compte des grandes différences que présentent entre elles les deux fibres : celle du coton a son brin tout formé et très doux, mais court et tortillé et n'ayant plus besoin, une fois arrivé aux filatures, que d'un simple nettoyage ; les fibres du lin et du chanvre, au contraire, ne sont pas formées, elles sont soudées les unes aux autres, sont plus rugueuses, longues et droites, sans souplesse, à l'état brut. Comme l'on voit, le contraste avec le coton est complet et c'est faute de ne l'avoir pas aperçu suffisamment tout d'abord, que l'on s'est engagé dans une mauvaise voie. C'est un célèbre ingénieur français, Philippe de Girard qui, au commencement du siècle dernier, encouragé par Napoléon 1<sup>er</sup>, trouva la solution du problème tant cherché ; mais ses associés le trahirent et vendirent les copies de ses machines aux Anglais, ce qui explique que la ville de Leeds fut le berceau de la filature du lin.

Le but principal des diverses préparations que doivent subir le lin et le chanvre est de séparer et adoucir les filaments, de les rendre flexibles et parallèles. Le *battage* et *Pouvrage* usités pour le coton sont évidemment inutiles ici ; il en est de même du *cardage*, bon pour aligner des fibres courtes et douces, mais qui briserait des filaments longs et rudes. Le travail ne peut pas être le même et, pour individualiser les brins, il faut les soumettre à l'opération du *peignage* ; c'est le premier travail essentiel que doit subir la matière. Celle-ci, comme nous l'avons déjà indiqué, a passé par diverses préparations agricoles : *rouissage* et *teillage*, sur lesquelles nous ne reviendrons pas ; il reste maintenant à exposer les opérations manufacturières, qui sont principalement :

Le *peignage* du long brin ; l'*étalage* et les *étirages* ; le *filage en gros* sur le banc à broches ; le *filage en fin* sur le métier à filer.

1<sup>o</sup> *Peignage*. — Il a pour but de diviser et de refendre les bandelettes de filasse sans briser les filaments, de les assouplir pour faciliter leur glissement mutuel, de les disposer parallèle-



ment et d'éliminer les restants de chénevette encore adhérente.

Le moyen employé est très simple, il consiste à faire passer à plusieurs reprises la gerbe à peigner sur des dents métalliques dont le degré de grosseur et d'écartement dépend de la finesse déjà obtenue, selon l'état d'avancement du travail. Le *peigne*, ou *séran* (fig. 324) a ses dents dirigées verticalement, l'ouvrier *séranceur* jette sur elle la partie pendante de sa gerbe et tire doucement;



Fig. 324. — Séran, ou peigne pour le lin et le chanvre

il répète ce mouvement en engageant de plus en plus le lin dans les dents et il recommence le tout avec l'extrémité qu'il tenait dans la main. Cette opération est semblable à celle qui consiste à soigner une chevelure avec un démêloir.

Les *déchets* sont de deux sortes, les corps étrangers et les *étoupes* formées par les brins très courts restant engagés entre les dents et que l'ouvrier enlève périodiquement. Il lui reste dans la main les longs brins ou *filasse*. Il y a un art, disons plutôt un tour de main, pour présenter la gerbe à l'action des dents, de façon à la piquer et fendre les brins sans les briser et sans augmenter inutilement les étoupes, aussi a-t-on rencontré les plus grandes difficultés pour substituer le *peignage mécanique* à l'opération manuelle précédente. La figure 325 représente le schéma rudimentaire d'un des nombreux dispositifs qui ont été imaginés dans ce but; la gerbe, ici est fixe, tandis que le peigne, constitué par des dents implantées dans une toile sans fin, est mobile; divers organes, non représentés, enlèvent les étoupes et dégagent les pointes.

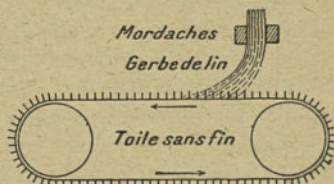


Fig. 325. — Schéma d'une peigneuse mécanique.

**Opérations de filature proprement dites. —**

2<sup>o</sup> Étalage et étirages. — Le but de cette opération consiste

à transformer les poignées, ou gerbillons de filasse, en une nappe, puis en un ruban continu. Une préparation analogue a été, si l'on s'en souvient, pratiquée pour le coton au moyen des *cylindres étireurs* (fig. 321); entre les deux paires de cylindres, étireurs et fournisseurs, le coton glisse doucement en subissant l'étirage; ici, le même dispositif serait insuffisant à cause de la différence de nature des fibres; tout en gardant le même prin-

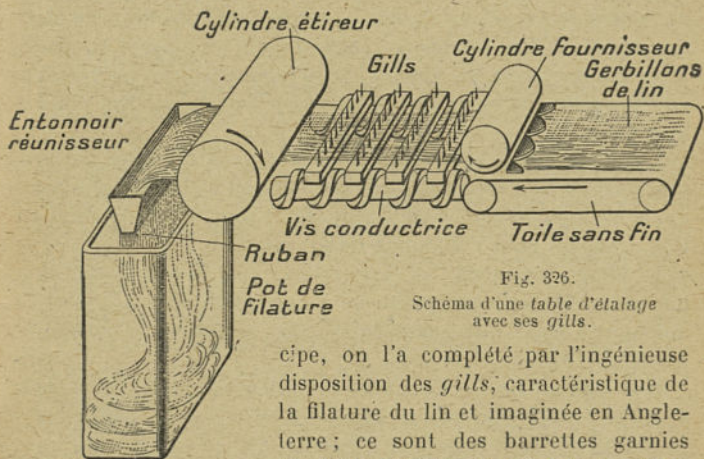


Fig. 326.

Schéma d'une table d'étalage  
avec ses gills.

cipe, on l'a complété par l'ingénieuse disposition des *gills*, caractéristique de la filature du lin et imaginée en Angleterre; ce sont des barrettes garnies de dents, servant à la fois de guide et de soutien aux filaments pendant leur trajet, accompagné d'étirage, entre le cylindre fournisseur et le cylindre étireur. Ces barrettes sont mises en mouvement de progression, par le fait qu'elles reposent sur des vis à filets écartés (fig. 326); une fois arrivées à l'extrémité de leur course, elles se trouvent déposées automatiquement sur un système de deux autres vis, placées en dessous, qui les ramènent à leur point de départ et les replacent sur les vis supérieures; la figure ne représente que ces dernières. L'ensemble de l'appareil prend le nom de *table d'étalage*, parce qu'en avant se trouve une toile sans fin, mobile, sur laquelle on étale les gerbes de filasse bien régulièrement les unes à côté des autres en *chevauchant* l'extrémité de l'une



vers le milieu de la précédente, afin de compenser les variations d'épaisseur. Les brins cheminent sur les gills qui permettent la disjonction des fibres adhérentes et par suite l'allongement et l'étirage de la nappe textile. La vitesse des barrettes doit être en rapport avec la rapidité d'étirage qui, elle-même, est fonction de la différence des vitesses linéaires aux circonférences respectives des cylindres fournisseur et étireur. Le gill, invention capitale, a fourni une importante contribution à la solution du problème de la filature mécanique du lin, en permettant l'obtention de fils très réguliers. Les filaments rendus parallèles passent ensuite à travers une sorte de couloir, ou d'entonnoir, qui les réunit en un *ruban* qu'on recueille dans un pot de filature placé au-dessous.

Les nombreux rubans obtenus ainsi dans la fabrique subissent ensuite une succession de doublages et d'étirages réitérés qui sont, comme pour tout textile, lin, coton, laine, la condition première pour l'obtention de fils réguliers.

3<sup>o</sup> **Filage en gros.** — Les rubans sont transformés en une *mèche* légèrement tordue au moyen d'un *banc à broches* analogue à celui représenté figure 322, mais avec en plus un dispositif d'étirage et de gills.

4<sup>o</sup> **Filage en fin.** — La mèche précédente passe à l'état de *fil fin définitif* par passage dans le *métier à filer*, semblable au précédent, mais sans gills (Voir fig. 322); le fil y subit un nouvel étirage et une très forte torsion. Le travail peut se faire de deux façons : *sec* ou *humide*; le premier cas est celui que nous venons de décrire; le second consiste à faire passer la mèche, aussitôt dévidée de la bobine supérieure, dans un bain d'eau chaude qui dissout la gomme imprégnant les filaments et s'opposant à un étirage parfait. On obtient ainsi des fils beaucoup plus fins.

5<sup>o</sup> Le fil ainsi fabriqué est dit *écru*. On le dévide des bobines à broches et on le renvide en écheveaux, ou flottes, pour faciliter les opérations ultérieures de blanchiment, indispensables pour le chanvre. Le fil, une fois blanchi, est prêt pour le tissage, mais on peut aussi tisser d'abord et terminer par le blanchiment.



**Étoupes.** — Les étoupes sont transformées en fils grossiers, par les procédés généraux applicables aux masses textiles confuses telles que le coton. C'est dire que l'on remplace la table d'étalage par les cardes et qu'on termine à l'aide de machines absolument semblables à celles de filature en coton, mais de dimensions plus grandes.

## Filature de la laine.

**Généralités.** — Les fibres de la laine sont toutes formées et séparées, douces et tortillées comme celles du coton, mais elles possèdent en outre une propriété spéciale, utile dans certains cas, gênante en d'autres, celle de pouvoir se *feutrer* par le foulage et le frottement (voir antérieurement, § 4 : Matières textiles, laine). Il en résulte que l'on peut obtenir trois espèces de tissus : 1<sup>o</sup> des étoffes formées de fils entrecroisés, ou *tissés* ; 2<sup>o</sup> des étoffes non tissées, à fils enchevêtrés, ou *feutres* ; 3<sup>o</sup> des étoffes tissées puis feutrées par le foulage, comme les *draps*, etc.

Au point de vue de la filature, on distingue deux espèces de laines : les *courtes* ayant au plus une douzaine de centimètres, et les *longues*.

Comme l'adhérence des fibres par le feutrage est la plus grande possible lorsqu'elles sont disposées à *tête-bêche*, la pointe de l'une contre la racine de l'autre, de telle façon que leurs aspérités s'engrènent et que, d'autre part, le travail des cardes est éminemment propre à amener ce résultat, il en résulte que les laines courtes sont surtout destinées à être travaillées par ces machines, en vue de produire des étoffes velues ou feutrées, d'où le nom de *laines à cardes*, *laines cardées* qu'on leur donne.

Dans les laines longues on recherche des résultats opposés, une disparition complète des propriétés feutrantes et une rectitude, un parallélisme parfait des fibres, ce qui ne peut s'obtenir que par l'action du *peigne*, d'où le nom de *laines à peigne*,

*laines peignées* qu'on donne encore aux fibres longues, servant à faire des étoffes rases.

Comme on le voit, la filature de la laine se partage nécessairement en deux grandes industries différentes.

#### 1<sup>o</sup> FILATURE DES LAINES LONGUES PEIGNÉES

Les opérations fondamentales étaient autrefois, avant l'invention des procédés mécaniques, le *peignage* et le *filage*. Comme toujours, un exposé succinct du procédé manuel est indispensable pour comprendre les propriétés de la matière étudiée et saisir le principe fondamental des systèmes mécaniques.

**Peignage à la main.** — L'ouvrier se servait d'une paire de peignes à aiguilles d'acier, disposées sur trois rangs dégradés, comme l'indique en coupe la figure 327 (P et P') ; un petit poêle à réchauffer complétait le matériel ; c'est qu'en effet les fibres laineuses sont élastiques et le peigne employé froid et sec ne pourrait les pénétrer et les démêler ; aussi, chauffe-t-on préalablement les aiguilles du peigne afin de ramollir les brins et enduit-on

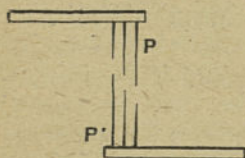


Fig. 327. — Coupe d'une paire de peignes pour la laine.

ceux-ci d'un corps gras (*ensimage*) afin d'éviter les ruptures.

Le but du peignage est le même que pour le lin : redresser les filaments, les paralléliser et les débarrasser des corps étrangers. L'ouvrier introduit donc une mèche *grasse* entre les dents *chaudes* et il la peigne jusqu'à ce que les poils soient bien parallèles, absolument comme une mèche de cheveux bien lissés.

La mèche de laine ainsi obtenue s'appelle le *cœur*, on la laisse refroidir et on en rassemble un certain nombre. Ce qui reste dans le peigne est la *blouse* qu'on ne peut filer très fine et qui sert à faire du gros drap.

Beaucoup de tentatives ont été faites pour arriver à peigner la laine mécaniquement. On y est parvenu par l'invention d'ingénieuses machines qui sont trop complexes pour que leur



description puisse trouver place dans le cadre restreint de cet ouvrage. Disons seulement que, dans toutes, l'organe essentiel est, en vue de la continuité du travail, un peigne cylindrique complété par un système destiné à enlever les nœuds et les filaments trop courts; mais leur mode d'action exige qu'elles reçoivent la matière textile déjà préparée sous forme d'un *ruban* et qu'elles la rendent de même, d'où il suit que le peignage n'est plus, comme dans les procédés manuels, la première opération de la filature et qu'il doit être précédé d'abord par l'*ensimage*, ou *huilage*, suivi du *cardage*, analogue à celui du coton (fig. 320) mais où les chapeaux sont remplacés par des cylindres à dents et des *hérissons*, et enfin l'*étirage*; toutes ces opérations préliminaires ayant pour but d'ouvrir la matière, de l'épurer et de commencer la parallélisation des fibres en les disposant sous forme d'un ruban qui passera ensuite à la peigneuse mécanique.

**Filage.** — Une série d'étirages et une légère torsion amènent le ruban à prendre l'aspect d'une *mèche* qui sera ensuite *filée*, soit au mélier *continu* (fig. 322), soit au métier *intermittent* (fig. 323) ou *self-acting*, ce dernier permettant, comme toujours, de faire des fils plus fins mais avec une production moindre.

Les fils *retors* résultent de l'assemblage de plusieurs fils simples.

Les laines peignées permettent d'obtenir toutes les étoffes rases telles que *mérinos*, *flanellenes*, *mousselines-laines*, *serges*, *châles*, *satins de laine*, etc.

## 2<sup>o</sup> FILATURE DES LAINES CARDÉES

La laine est soumise à l'action d'une *batteuse*, analogue à celle usitée pour le coton, dans le but d'ouvrir et de desserrer la matière, puis à l'*ensimage* avec 15 pour 100 d'huile environ pour faciliter le travail ultérieur, notamment le *cardage* (analogue à celui du coton) et le *filage* qui se font donc ici sur la fibre *grasse*.

On peut fabriquer, avec la laine cardée, toutes sortes



d'étoffes de laine feutrées ou foulées, depuis les draperies les plus légères jusqu'aux tapis.

**Laine régénérée ou renaissance.** — Elle s'obtient par l'effilochage des lainages hors d'usage, leur recardage et leur filage.

**Numérotage.** — Le numérotage ancien est tel que le n° 1 correspond à une longueur de 600 aunes (ou 720 mètres) pesant 500 grammes. Le n° 2 est tel que 1 440 mètres pèsent ce même poids de 500 grammes et ainsi de suite.

Le numérotage métrique indique le nombre de kilomètres qui pèsent 1 kilogramme.

L'industrie des lainages, très prospère, est surtout localisée dans les régions du Nord de la France.

### III. — TISSUS. — NOTIONS SUR LE TISSAGE

**Tissus.** — Un tissu est une surface flexible obtenue par l'entrelacement de longs fils suivant une loi déterminée.

Ces fils peuvent être partagés en deux séries croisées perpendiculairement l'une à l'autre : une première série dirigée suivant la longueur de la pièce d'étoffe et constituant ce qu'on appelle les *fils de chaîne*, une deuxième série, dans le sens de la largeur, formant la *trame*.

L'ensemble de la chaîne constitue une série de fils parallèles et *distincts* ; la trame est formée par un seul et même fil qui va et vient d'un bord <sup>1</sup> à l'autre, en se faufilant entre les fils de chaîne, passant alternativement par-dessus (ce qu'on appelle un *sauté*) et par-dessous (ce qu'on appelle un *pris*). La longueur de fil de trame nécessaire pour aller d'une lisière à l'autre, c'est-à-dire pour se développer suivant la largeur de l'étoffe, prend le nom de *duite*.

Nous allons maintenant faire connaître les noms et la contexture des principaux tissus : l'aspect et les propriétés de ceux-ci

1. Ou lisière.

dépendent uniquement, outre la nature du textile, de la loi suivant laquelle a lieu l'entrelacement de la chaîne et de la trame ; cette loi prend le nom d'*armure*.

Dans ce qui va suivre nous conviendrons de représenter les fils de chaîne par des petites bandes teintées ou couvertes de hachures, la trame restant en blanc. Pour figurer la contexture, ou mode d'entrelacement d'un tissu, on peut en donner une représentation réelle ou un schéma symbolique, appelé *carton* ou *mise en carte*, qui montre immédiatement aux yeux la composition de l'étoffe. Nous allons préciser cette notion par l'examen des armures fondamentales correspondant aux principaux tissus.

**Armures fondamentales.** — 1<sup>o</sup> Les tissus les plus simples comme contexture sont :

Pour le lin et le chanvre : la toile et la batiste.

Pour le coton : la mousseline et les cotonnades.

Pour la laine : le drap ordinaire.

Pour la soie : le taffetas.

Toutes ces étoffes ne diffèrent que par la nature ou la finesse de leurs fils, car ceux-ci y sont tous assemblés de la même manière, suivant la même loi, que nous appellerons l'*armure unie, toile ou taffetas* (fig. 328, *a* et *b*) ; la figure *a* montre que le fil de trame, la *duite* en un mot, serpente entre les fils de chaîne en passant alternativement au-dessus et au-dessous de ceux-ci ; par exemple, au-dessous des fils impairs et au-dessus des fils pairs. On pourrait caractériser brièvement cette armure en disant que son allure ou sa loi est :

*un pris et un sauté.*

La figure *b*, qui est au-dessous, est la représentation symbolique expéditive, ou encore la *mise*

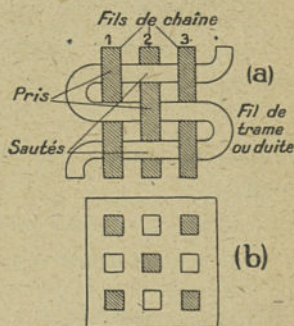


Fig. 328.

(a) loi de l'armure *toile* ou *taffetas*;

(b) *mise en carte*.

en carte, du dessin *a* ; pour l'obtenir, on trace un quadrillage ; les colonnes verticales de celui-ci représentent les fils de chaîne, les rangées de carrés horizontales correspondent aux diverses duites ; partout où la chaîne est visible, le carré correspondant est teinté ou hachuré, il s'agit alors d'un *pris* ; là où la chaîne est invisible, il y a un *sauté* et le carré reste blanc.

Ce genre de tissus n'a évidemment pas d'envers.

La *faille* est du taffetas (soie) dont la chaîne est *cuite* et la trame souple.

La *cretonne* doit son aspect agréable à sa trame fine, courant entre la chaîne plus forte.

Le *tulle*, qui imite la dentelle légère est constitué par des fils de trame enroulés autour des fils de chaîne, ce qui produit l'aspect d'un *réseau*.

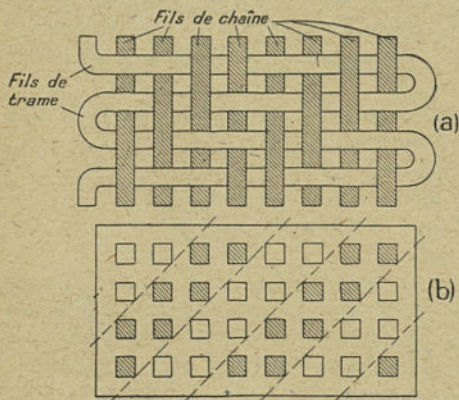


Fig. 329.

(a) Loi de l'armure croisée ; (b) mise en carte.

**croisée ou batavia** (fig. 329). — On peut la caractériser ainsi :

*deux pris, deux sautés.*

L'examen des figures *a* ou *b* montre que l'ensemble des pris ou des sautés peut se décomposer en paires de rangées placées en diagonale par rapport à la longueur de la pièce, ce qui justifie le nom de *croisé* donné à cet agencement, d'après les sillons apparents qu'il détermine.

**3° L'armure sergée** (fig. 330). — Loi :

*deux pris, un sauté.*



Les étoffes en *sergé* se reconnaissent à ce que les sillons sont plus petits et plus serrés que les précédents ; ex. le *coutil*, tissé de chanvre ou de lin. On pourrait aussi faire un *sergé* : trois pris, un sauté, etc...

4<sup>o</sup> L'armure satin (fig. 331) est celle où l'une des séries de fils, trame ou chaîne est notablement plus en évidence que l'autre ; par exemple, dans le satin à effet de *trame*, ce sont les fils de cette dernière catégorie qui couvrent la plus grande partie des fils de chaîne ; or les fils de trame sont toujours moins tordus, donc plus brillants que ceux de chaîne :

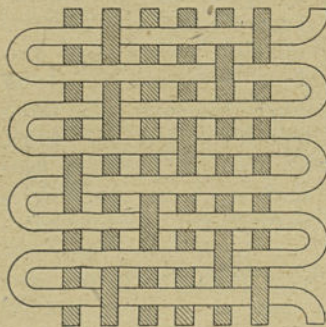


Fig. 331. — Armure satin ; effet de trame.

d'autre part, l'un des constituants, la trame couvrant la majeure partie de l'autre, le nombre des solutions de continuité visibles devient moindre, d'où une double raison pour que le tissu ainsi fabriqué présente des reflets chatoyants marqués.

On pourrait imaginer, inversement, un satin à effet de chaîne.

5<sup>o</sup> On peut réaliser des combinaisons des armures précédentes entre elles, de manière à obtenir des rayures plus ou moins larges, des *damassés*, etc.

On varie aussi la couleur des fils de trame ou de chaîne sui-

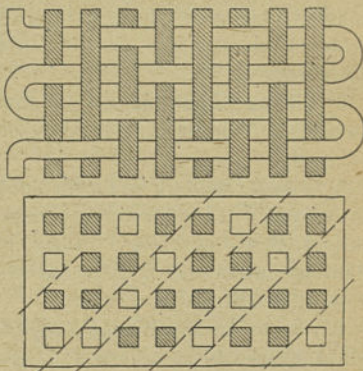


Fig. 330. — Loi de l'armure *sergée*, et mise en carte.

vant une loi déterminée, d'où la production d'étoffes *écossaise* pour robes, de doublures et de draps fantaisie, etc. Enfin les articles dits *double-étoffe*, tels que sacs à grains, tuyaux d'incendie, mèches de lampe, etc., sont confectionnés en *tissus à quatre éléments*, sans couture, au moyen de deux chaînes et de deux trames.

6° Tissus façonnés. — Ce sont ceux dont la surface est constituée d'une façon spéciale, ornée de dessins ou de reliefs, etc., etc.

A) Tissus *brochés*. — La surface présente des dessins obtenus au moyen de fils de trame diversifiés, indépendants les uns des autres, et n'allant pas d'un bord à l'autre de l'étoffe comme dans les autres cas. On peut constater le fait en examinant l'envers du tissu.

B) Tissus au mécanisme *Jacquard*. — On peut obtenir des effets décoratifs au moyen d'un système mécanique dont nous reparlerons plus loin. Si, par exemple, le tissu doit représenter une fleur, comme le

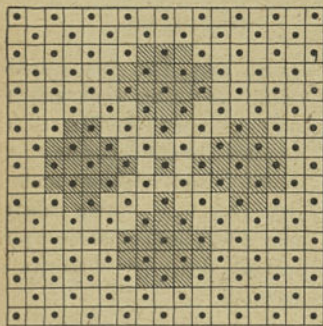


Fig. 332. — Mise en carte d'un dessin pour métier Jacquard; fond à armure toile.

montre la partie inférieure de la figure 332, on procède d'abord à la *mise en carte* du dessin, sur un papier quadrillé, de façon à représenter graphiquement la loi de variation des *pris* et des *sauts*, les colonnes verticales figurant la chaîne, les rangées horizontales correspondant aux duites; on a ainsi l'aspect qu'offre la partie supérieure de la figure 332, où on a supposé un fond d'armure toile (les carrés à point noir sont les *pris*); on voit immédiatement les endroits où les fils de chaîne ou de trame seront vus ou cachés; telle est la mise en carte, qui servira



ensuite, dans les mains d'un ouvrier appelé *liseur*, à préparer une série de cartons spéciaux perforés destinés au fonctionnement du mécanisme Jacquard.

C) *Velours*. — Comme chacun sait, c'est une étoffe qui est recouverte d'une véritable toison de poils courts et serrés, qui se dressent perpendiculairement à la surface et en cachent l'armure généralement du genre toile ou sergé.

Ce résultat est obtenu en s'arrangeant de manière, pendant le tissage, à ce que la chaîne ou la trame, au lieu d'être tendues et de s'insérer le plus étroitement possible, restent lâches en formant des *boucles* sur la surface. Il n'y a plus ensuite qu'à couper chacune de ces rangées de boucles, au fur et à mesure de leur obtention, pour qu'elles donnent naissance à deux lignes de poils, et l'effet de velours est obtenu. On peut évidemment fabriquer soit le velours *par chaîne*, soit *par trame*. Si on ne coupe pas les boucles, on a le velours *frisé*.

La *peluche* est un velours à poils longs et soyeux.

Les *rubans* sont des tissus de soie ou de coton de très faible largeur ; on en fabrique un grand nombre simultanément sur le même métier.

D) Le *drap* est tissé avec la laine, comme la toile avec le lin. Le fond de cette étoffe est donc à armure toile ; mais elle est soumise, après tissage, à l'opération du *soulage* qui a pour effet de *feutrer* les fibres (Voir plus loin).

La *flanelle* est une laine légère, armure toile, et non feutrée.

Tandis que le drap est fabriqué avec de la laine courte, cardée, l'*étamine* s'obtient au contraire avec la laine longue, peignée, non feutrée.

Le *reps* est une étoffe de laine à *côtes*, d'armure *toile* ou *unie*.

E) La *broderie* est un travail à l'aiguille sur une étoffe déjà fabriquée, en vue de former des dessins à jour ou en relief. Ces résultats peuvent encore s'obtenir au moyen de machines spéciales.

F) La *tapisserie* est un travail exécuté à la main sur une chaîne, avec des fils de trame diversement colorés, en vue de constituer un tissu ayant l'aspect d'un dessin ou d'une peinture.



G) La *dentelle* est un tissu léger où l'on ne distingue ni chaîne ni trame. Les fils s'entrelacent, non d'après une loi invariable, mais selon le goût de l'ouvrière de manière à représenter un dessin déterminé. Le fond de ce tissu est donc un *réseau*, comme celui d'un filet.

H) Le *tricot* est un tissu formé d'un seul fil dont on forme, au moyen d'une aiguille spéciale, des boucles successives qui s'entrelacent avec celles d'une rangée précédente, en formant un tout très flexible. Il existe des machines à tricoter.

**Notions sur le tissage.** — Avant d'être disposés sur le métier à tisser, les fils subissent une main-d'œuvre spéciale ; c'est ce qu'on appelle les opérations préliminaires ; celles-ci sont différentes pour la chaîne et pour la trame.

A) **Fils de chaîne.** — Les écheveaux sont déroulés et renvidés sur des bobines ; puis celles-ci sont *ourdiées*. L'ourdissage consiste à préparer la chaîne du métier à tisser en assemblant tous les fils parallèlement avec la même longueur et la même tension. Dans ce but, les bobines, en nombre égal à celui des fils de chaîne, sont implantées dans les broches d'un châssis et leur contenu est enroulé simultanément sur un tambour appelé *ourdissoir* et, de là, sur un rouleau, l'*ensouple*, qui sera ensuite porté sur le métier. Un système de peignes divise l'ensemble des fils en deux nappes formées respectivement des fils impairs et des fils pairs, en alternant. Ces deux nappes sont maintenues distinctes, quoique sur le même cylindre, au moyen d'une baguette dite d'*envergure*. L'ourdissage peut être effectué manuellement ou mécaniquement. Les fils de trame sont ensuite *parés ou collés* (sauf ceux de soie), c'est-à-dire enduits de fécule et de sulfate de cuivre, pour leur permettre de supporter sans dommage la fatigue des opérations de tissage.

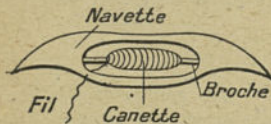


Fig. 333. — Navette de tissage.

B) Les fils de *trame* ne sont pas parés, habituellement : ils sont enroulés sur des petites bobines appelées *canettes* ; chacune de celles-ci est introduite dans une pièce en bois de

forme spéciale, appelée *navette*, de laquelle on peut dévider le fil (fig. 333).

C) **Métier à tisser.** — Il se compose d'un bâti en charpente supportant divers organes dont les plus essentiels sont les suivants : l'*ensouple* (A) (fig. 334, a), cylindre sur lequel sont enroulées les deux nappes, impaire et paire, des fils de chaîne. Ces fils sont tendus par l'action du poids P et ils traversent toute la longueur du métier en venant passer, en avant, sur

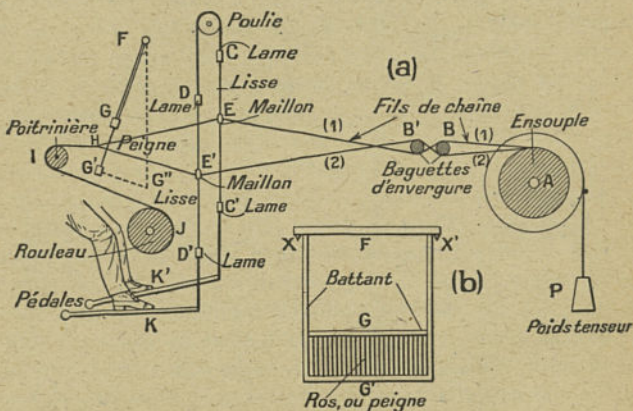


Fig. 334. — Métier à tisser (schéma).

une pièce cylindrique I appelée *poitrinière*, pour s'enfoncer par dessous et venir finalement s'attacher au rouleau J, sur lequel viendra s'enrouler l'étoffe au fur et à mesure de la fabrication.

Chemin faisant, les deux nappes chevauchent sur deux baguettes B, B' dites d'*envergure*, qui les séparent ; puis les fils passent dans autant de *maillons* fixés à des ficelles CC', DD' appelées *lisses* (il y en a autant que de fils de chaîne), celles-ci étant soutenues par des pièces de bois C, D, C' D' dites *lames* ; l'une des paires de lames, avec ses ficelles, porte donc l'ensemble des fils impairs, l'autre paire soutient les fils pairs ; les lisses peuvent recevoir un certain mouvement de montée ou



de descente par le jeu de deux pédales K, K', auxquelles elles sont respectivement fixées par leur partie inférieure, et d'une poulie supérieure sur laquelle s'enroule une corde qui soutient le système des deux paires de lames (ou *harnais*). Enfin les fils de chaîne, après avoir quitté les maillons des lisses, s'engagent dans les intervalles d'une sorte de grille GG' appelée *ros* ou *peigne*, représentée à part et vue de face (fig. 334, b); ce peigne est supporté par un cadre, ou *battant*, mobile autour d'un axe F, et pouvant ainsi prendre, à volonté, toute position entre FG' et FG'' (fig. 334, a). Le métier fonctionne de la manière suivante. Le tisserand appuyant sur la pédale K, abaisse la nappe de chaîne paire et soulève la nappe de fils impairs, le peigne ayant la position arrière FG''; dans l'intervalle laissé libre entre le peigne et la ligne H d'étoffe déjà faite, il projette horizontalement la navette, de droite à gauche, ce qui développe une *duite*; puis il amène à lui le peigne dans la position avant FG', ce qui presse fortement la duite contre la ligne H d'étoffe; il repousse ensuite le peigne en FG'' et appuie sur la pédale gauche K', ce qui abaisse cette fois les fils impairs et élève les fils pairs; de plus, ce mouvement a pour effet d'*enserrer* fortement la duite qu'il vient de placer; il suffit maintenant de lancer la navette de gauche à droite, ce qui dépose une nouvelle duite, de faire avancer le peigne, puis de le repousser, etc. Au fur et à mesure que l'étoffe avance, on l'enroule sur J.

D) *Métiers mécaniques*. — Toutes ces opérations peuvent s'effectuer mécaniquement (métiers mécaniques), même pour les effets de dessin ou de relief des étoffes dites *façonnées*, par l'emploi de la mécanique de Jacquard; il faut alors que l'on ait préalablement effectué la *mise en carte* du sujet (voir antérieurement) et qu'on en ait fait dériver la construction d'un système de cartons articulés les uns aux autres, dont les perforations correspondent aux *pris* de la carte. Ce sont ces cartons qui, automatiquement, par leurs trous, commandent la levée des fils voulus de la chaîne, à chacun des instants du travail. Ceci s'obtient de la manière suivante. Tous les fils qui doivent être levés ensemble sont solidaires d'une même aiguille verti-



cale telle que MM ou NN, etc. (fig. 335) par le moyen de cordelettes P, Q... guidées par une planchette UV, dite *planche à collets*, dont elles traversent les orifices. Les aiguilles sont, à leur partie supérieure, recourbées en crochet au-dessus de lames inclinées et biseautées telles que C, D..., fixées elles-mêmes à une traverse horizontale LL, pouvant, à un moment

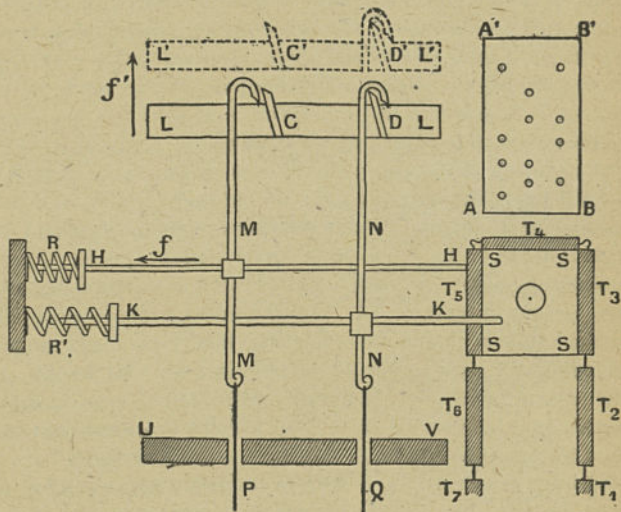


Fig. 335. — Schéma du mécanisme Jacquard.

donné, recevoir dans le sens de la flèche  $f'$  un mouvement ascensionnel qui l'amène en  $L'L'$ , entraînant les lames CD et celles des aiguilles verticales qui y sont restées accrochées à la suite du mouvement que nous allons décrire. Chaque aiguille verticale MM est solidaire d'une tringle HH, ou KK, constamment repoussée vers la droite par la tension d'un ressort R ou R'..., à moins que l'extrémité opposée ne vienne pénétrer, comme cela a lieu pour la tringle K, dans un des orifices pratiqués intentionnellement dans un carton tel que celui qui est représenté à part en AB A'B'. Il y a un grand nombre de ces

IRIS - LILLIAD - Université Lille

cartons  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, \dots$  liés les uns aux autres par un fil court et formant comme une sorte de chaîne sans fin s'enroulant sur le prisme carré SSSS qui présente lui même, sur chacune de ses faces longitudinales, des cavités en concordance avec le nombre et la position des tringles horizontales HH...

Dans ces conditions on conçoit que, si le carton  $T_5$  actuellement en travail présente autant de perforations que le prisme S a de cavités concordantes, toutes les tringles horizontales seront repoussées à fond vers la droite, toutes les aiguilles resteront alors accrochées et seront soulevées par le mouvement ascensionnel de la traverse LL, entraînant avec elle tous les fils de chaîne ; mais, si le carton ne présente qu'un certain nombre de perforations judicieusement distribuées, toutes les tringles telles que HH pour lesquelles un plein du carton bouche le trou correspondant du prisme, seront repoussées vers la gauche dans le sens de la flèche  $f$ , l'aiguille correspondante se décrochera automatiquement, les biseaux glissant l'un sur l'autre, de sorte que, lorsque la traverse LL montera en LL', elle laissera MM en place (fils de chaîne non soulevés), tandis que l'aiguille non décrochée NN sera soulevée, entraînant avec elle les fils de chaîne correspondants ; la navette étant alors lancée, la dûté passera sous les dits fils et le tissu portera ainsi une couverture brochée correspondante.

Ensuite, le prisme SS se retirera un peu à droite et fera un quart de tour, de telle façon que le carton d'attente  $T_6$  se substituera au carton  $T_5$ , avec ses nouvelles perforations particulières ;  $T_5$  prendra le nom de  $T_4$  et ainsi de suite. Pendant ce temps, la traverse LL se rabaissera : les ressorts précédemment comprimés se détendront, les tringles reviendront à leur place naturelle et les mêmes opérations recommenceront.

On voit donc que, pour obtenir automatiquement un dessin quelconque, il suffit de disposer convenablement les perforations de chaque carton. Cette préparation s'obtient aisément si l'on a eu soin d'effectuer préalablement la *mise en carte* soignée du dessin, comme cela a été expliqué antérieurement (voir *armures fondamentales* et fig. 332).

Ce résultat n'était obtenu jadis qu'au moyen d'un système

compliqué de cordages et de pédales nécessitant la collaboration supplémentaire de cinq personnes ; aussi, l'invention admirable de l'artisan lyonnais Jacquard supprimant cette main-d'œuvre coûteuse, fut-elle d'abord mal accueillie, par les ouvriers tisseurs de Lyon qui brisèrent la première machine construite d'après ce système, au commencement du siècle dernier.

#### IV. — NOTIONS SUR LE BLANCHIMENT ET LA TEINTURE, L'IMPRESSION ET L'APPRET DES TISSUS

##### 1<sup>o</sup> Blanchiment.

Le blanchiment a pour but l'élimination des impuretés et des matières étrangères existant naturellement dans les tissus, ou apportées par les diverses opérations du filage et du tissage.

Les principaux agents de blanchiment ou de décoloration sont l'acide sulfureux, l'eau oxygénée et le chlore ; les deux premiers peuvent être employés pour tous les textiles mais sont principalement réservés pour les fibres d'origine animale ; le chlore n'est applicable qu'aux textiles végétaux.

1<sup>o</sup> **Blanchiment de la laine.** — On emploie généralement l'acide sulfureux. La laine est d'abord dégraissée à fond avec du carbonate de soude bien pur, la soude Solvay notamment, en évitant l'emploi des eaux calcaires qui formeraient des savons de chaux difficiles à éliminer ultérieurement. On procède ensuite au *soufrage*, qui consiste à enfermer les tissus *humidifiés* dans une chambre en maçonnerie parfaitement close, appelée *souffroir*, où l'on brûle du soufre qui, par sa combustion, produit du *gaz sulfureux* doué de propriétés décolorantes. On passe ensuite à l'eau chaude, puis en bain de savon léger pour assouplir l'étoffe.

On emploie aussi quelquefois dans le même but, le *bisulfite de soude* additionné d'un peu d'acide chlorhydrique ; ou encore l'*hydrosulfite*, ou enfin l'*eau oxygénée*, seul agent qui détruit



définitivement et sans retour la matière colorante, ce que ne font pas les produits sulfureux. Mais l'emploi de ce corps est plus coûteux.

Un autre procédé, complètement différent dans son principe, la *teinture en blanc*, consiste à traiter la laine par une dissolution de bicarbonate de soude et de sulfate de magnésie ; en portant à l'ébullition, il se produit dans la fibre un précipité de carbonate de magnésie d'un blanc éclatant qui masque la coloration de la laine ; mais l'étoffe, ainsi traitée, laisse un dépôt de poudre, au frottement.

2° **Blanchiment de la soie.** — On emploie le soufrage, soit seul, soit combiné avec l'*acidage*, qui consiste à traiter préalablement la soie par un bain d'eau régale faible, contenant 1 pour 100 d'acide azotique pour 4 d'acide chlorhydrique et étendant d'eau jusqu'à ce que le liquide ne marque que 45° Baumé ; on opère à tiède, au-dessous de 30°, de manière que la soie ne prenne pas, par l'action de l'acide azotique, une teinte jaune persistante. La soie sort grise de ce traitement ; on la lave à grande eau et on la soumet au soufrage puis à un assouplissage dans un bain d'eau bouillante ; elle devient ainsi très blanche et très douce.

3° **Blanchiment du coton et des matières végétales.** — Le coton renferme naturellement une matière colorante fauve et une résine qui sont solubles seulement après oxydation par l'air ou par le chlore. Il contient en outre toutes les matières étrangères apportées par le travail de filature ou de tissage : parement de féculés et de sulfate de cuivre appliqué à la chaîne, matières grasses employées par le tisserand pour assouplir celle-ci, etc.

Il faut dépouiller la fibre filée ou tissée de toutes ces impuretés et de plus, si le tissu doit recevoir ultérieurement la *teinture*, enlever le duvet qui s'est formé pendant le tissage, en soumettant préalablement l'étoffe à l'opération du *grillage*, ou *flambage*, devant une flamme ou un cylindre métallique incandescent ; sans cette précaution, les poils de ce duvet se coucheraient sous l'action du rouleau de teinture et donneraient à la couleur un aspect de traînage.

Pour obtenir un coton bien blanc, on le soumet ensuite à la série d'opérations suivantes :

1° Un passage en lait de chaux, qui saponifie les corps gras en mettant de la glycérine en liberté ; les pièces sortant de ce bain passent entre deux cylindres, ou *squeezers*, qui expulsent l'excès de liquide tout en le forçant à pénétrer intimement dans le tissu. On lave ensuite l'étoffe dans une machine appelée *clapot* (fig. 336), composée de cylindres qui tournent en

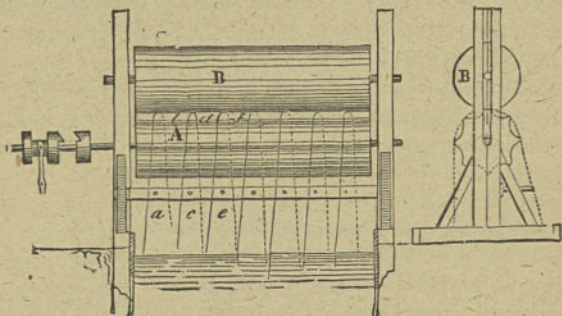


Fig. 336. — *Clapot* pour le lavage des étoffes.

entraînant la pièce et la font alternativement plonger et sortir ;

2° Un passage en eau acidulée chlorhydrique à 2° Baumé qui décompose le savon calcaire formé dans l'opération précédente, en dissolvant la chaux et mettant en liberté les acides gras ;

3° Un passage en lessive de soude additionnée de savon de résine ; cette soude sature les acides gras précédents et forme des savons solubles. La lessive est *circulante* ; elle s'élève dans un tube central, sous l'influence de la pression de la vapeur, et se déverse à la surface, filtre à travers l'étoffe, l'épure, gagne le fond et remonte de nouveau, et ainsi de suite indéfiniment ;

4° Un bain de *chlorure de chaux* à 1° Baumé qui décompose les matières colorantes de la fibre ;

5° Un passage en acide faible et un rinçage à fond, puis un séchage. On termine parfois par un traitement *antichlore*

(sulfite de soude, hyposulfite de soude, ammoniacque, etc.) pour enlever les dernières traces de chlore extrêmement nuisibles à la solidité du tissu.

Le *lin* et le chanvre sont beaucoup plus difficiles à blanchir que le coton parce que la matière colorante qui les imprègne est très résistante et ne pourrait être enlevée en une seule fois sans nuire à la qualité du textile. Aussi, n'est-on pas encore parvenu à des résultats entièrement satisfaisants par les procédés rapides du *chlorage* et, lorsqu'on désire avoir une étoffe de lin parfaitement blanche, on combine ce procédé chimique avec l'antique *exposition sur le pré*, encore pratiquée dans beaucoup de localités, comme on peut le voir encore dans les vallées des Vosges. L'herbe doit être haute, de façon que l'air et la lumière puissent avoir accès par-dessous : on humecte soir et matin avec une eau aussi peu calcaire que possible, ce qui est réalisé naturellement dans les pays granitiques. Au bout de quelques jours, sous l'action combinée de l'*oxygène* de l'air et peut-être même de l'*ozone*, de la lumière et de l'humidité, la matière colorante se trouve transformée en produits solubles qu'on élimine définitivement par une série de traitements aux alcalis étendus et de chlorages.

Ce procédé d'exposition sur le pré est trop long pour être appliqué très en grand, il exige l'immobilisation de grands espaces, au détriment de la culture et, enfin, ne peut réussir que dans la belle saison ; aussi est-il généralement remplacé, dans les grands centres industriels, par le procédé moins parfait des chlorages alternés avec des lessivages en carbonate de soude.

## 2° Teinture.

Lorsqu'un textile, filé ou tissé, a été convenablement nettoyé et blanchi, il est alors en état de recevoir, par les opérations de la teinture, des colorations diverses ; celles-ci sont qualifiées *bon teint* lorsqu'elles résistent au lavage et surtout au savonnage. Il ne suffit pas, en effet, généralement, de plonger



l'étoffe dans un *bain de teinture*, pour obtenir une coloration indélébile, faisant corps avec la fibre, sauf dans quelques cas spéciaux, comme la teinture en indigo ou en noir d'alinine, etc., il faut, le plus souvent, faire intervenir, entre la fibre et le colorant, une troisième substance qu'on appelle un *mordant*. On désigne sous le nom d'*adjectives* les couleurs qui nécessitent l'emploi d'un mordant ; sous le nom de *substantives*, celles qui teignent directement.

**Mordants et laques.** — Un mordant est un corps qui a la propriété de contracter une combinaison stable à la fois avec le colorant d'une part et avec le textile d'autre part ; il peut donc servir de lien pour les unir l'un à l'autre. Considérons par exemple cette belle matière colorante connue sous le nom de *garance*, ou encore son principe actif qu'on appelle l'*alizarine* ; si, dans un bain de celle-ci, nous plongeons un écheveau de coton blanchi et, qu'au bout d'un certain temps d'immersion, nous le retirons et le lavions, nous verrons la teinte s'en aller à l'eau ; on dit qu'elle décharge ; en réalité, le coton n'est pas teint. D'autre part, si nous chauffons l'alizarine avec un sel d'alumine, l'acétate, par exemple, nous verrons se former un précipité rouge insoluble résultant de la combinaison de l'alumine avec le colorant : c'est une *laque* d'alizarine. D'une manière générale, on donne le nom de *laque* à toute combinaison insoluble d'un oxyde métallique avec un principe colorant. Une telle substance, en vertu de son insolubilité même, ne pourrait pas plus colorer une fibre qu'une poudre inerte quelconque qui resterait simplement appliquée sur la surface et qu'un simple lavage ferait disparaître aisément.

Il n'en sera plus de même si nous nous arrangeons de façon que le mordant et le colorant, au lieu de réagir extérieurement à la fibre, effectuent leur combinaison à l'intérieur de celle-ci, où on les aura fait pénétrer à l'état dissous. Ainsi, pour reprendre l'exemple précédent, imprégnons d'abord le coton d'une dissolution d'acétate d'alumine, puis provoquons la décomposition de ce sel, soit en chauffant, ce qui fait dégager des vapeurs d'acide acétique, soit en ajoutant du carbonate d'ammoniaque, l'alumine hydratée, ou

oxyde d'aluminium, va être mise en liberté dans les pores mêmes du coton et y restera emprisonnée ; la fibre est alors *mordancée* ; si maintenant on vient à la plonger pendant un temps suffisant dans le bain d'alizarine, celle-ci sera captée par l'alumine et le coton sera alors teint en rouge tout à fait fixe ; plongé dans l'eau et savonné, il déchargera un peu de teinte non fixée, adhérente superficiellement, mais il gardera un fond rouge indélébile.

On pourrait répéter les mêmes explications et les mêmes expériences soit avec la laine (à l'ébullition), soit avec la soie, avec encore plus de succès, car les oxydes métalliques ont une affinité plus grande pour les fibres animales que pour les végétales.

Les principaux mordants sont les sels d'aluminium, de fer, de cuivre, de chrome, d'étain, etc.

Les mordants d'alumine sont ceux qui ont le plus d'emploi en teinture, parce qu'en effet c'est avec l'alumine que la plupart des matières colorantes naturelles prennent leur nuance fondamentale. On utilise surtout le sulfate, l'acétate et l'alun ammoniacal, ou sulfate double d'aluminium et d'ammonium.

Le mordantage du coton s'effectue souvent par le procédé dit du *vaporisage*, qui consiste à imprégner le tissu d'un mélange du colorant et de l'acétate d'alumine, puis à le soumettre à l'action de la vapeur d'eau, ce qui a pour effet de dissocier l'acétate et de former peu à peu, à l'intérieur de la fibre, une laque insoluble et colorée.

Parmi les mordants de fer, le sulfate ferreux, ou vitriol vert, est un des plus employés surtout pour la teinture en noir à l'aide du tanin.

L'oxyde d'étain forme des laques magnifiques avec un grand nombre de colorants naturels ; il donne des couleurs très brillantes sur laine et sur soie.

**Matières colorantes naturelles.** — On distingue deux grandes classes de colorants selon leur origine : ceux que la nature nous offre tout formés au sein de tissus végétaux ou même animaux,



et ceux qui sont fabriqués de toutes pièces par les procédés de laboratoire ou d'industrie ; ces derniers sont les colorants *artificiels*.

Les principales matières colorantes naturelles sont l'indigo, la garance, la cochenille, le campêche et une multitude d'autres bois ou matières.

L'*indigo* est une des matières les plus anciennement connues en teinture ; son principe colorant s'appelle l'*indigotine*. Cette substance a les propriétés fondamentales suivantes :

1<sup>o</sup> Elle est soluble dans l'acide sulfurique en donnant une liqueur bleue (sulfate d'indigo) ;

2<sup>o</sup> Sous l'action des corps oxydants, comme le chlore en présence de l'eau, l'acide azotique, etc., l'indigotine se transforme en une matière *incolore*, l'*isatine* ;

3<sup>o</sup> Sous l'action des corps réducteurs, comme le sulfate ferreux, l'acide hydrosulfureux, etc., l'indigotine se transforme en un autre corps *incolore*, appelé *indigo blanc*, ou *indigo réduit*, qui est soluble dans les lessives de potasse, de soude ou de chaux. Cette solution presque incolore, étant exposée à l'action oxydante de l'air, régénère l'indigo bleu insoluble.

Ces faits étant établis, nous pouvons maintenant expliquer brièvement comment on opère par l'important procédé de teinture en bleu connu sous le nom de *cuve d'indigo*, qui consiste dans une dissolution d'indigo réduit, faite dans de grandes cuves, en vue de teindre le coton, la laine, etc. — On peut employer des *réducteurs* variés ; voici, par exemple, la *cuve à la couperose*, ou au vitriol vert (sulfate ferreux) ; on met en présence, dans une cuve fermée, une solution de ce sel, de l'indigo et de la chaux ; peu à peu, la matière bleue devient incolore par suite de la transformation de l'indigo insoluble en indigo réduit *soluble* dans l'eau de chaux ; c'est là le succès de la méthode : vient-on à plonger dans le liquide une fibre textile, celle-ci va être pénétrée intimement par le colorant soluble ; si ensuite, par une exposition à l'air, qualifiée de *déverdisage*, l'oxygène vient à transformer l'indigo blanc en indigotine bleue, celle-ci redevient insoluble et reste emprisonnée dans le textile d'une façon indélébile.

On a trouvé le moyen de fabriquer de toutes pièces l'*indigo artificiel*. La question est trop spéciale et trop complexe pour pouvoir être abordée ici.

La *garance*, dont les principes actifs sont d'abord l'*alizarine*, puis la *purpurine*, etc., donne des teintes remarquables comme beauté et solidité, mais qui ne se fixent sur les tissus qu'avec le concours d'un mordant. On obtient du rouge avec l'alumine, du lilas, du



violet ou même du noir avec les mordants de fer. La garance, ou l'alizarine qu'on a obtenue aussi artificiellement, sont employées notamment pour la teinture du drap en rouge.

La *cochenille* est une matière colorante tirée de certains insectes vivant sur des *cactus* ; elle sert à faire le carmin, etc. Le *bois de campêche* est un arbre qui croît aux Antilles, au Mexique, etc. ; on le reçoit en Europe sous forme de bûches qu'on découpe en copeaux utilisables directement en teinture (couleur rouge), ou dont on se sert pour faire un *extrait*. Citons encore le *safran*, le *rocou*, le *curcuma*, le *cachou*, etc.

**Matières colorantes artificielles.** — Du goudron de houille, résidu de la fabrication du gaz d'éclairage, on peut retirer

divers corps tels que la benzine ou benzène, le toluène, etc. Ces liquides, soumis à l'action de l'acide azotique fumant, donnent naissance à divers corps chimiques : le nitrotoluène, le nitrobenzène, etc., qui eux-mêmes, sous l'action des réducteurs, engendrent des bases organiques : l'aniline, la toluidine, etc., servant de point de départ à l'obtention d'une quantité prodigieuse de

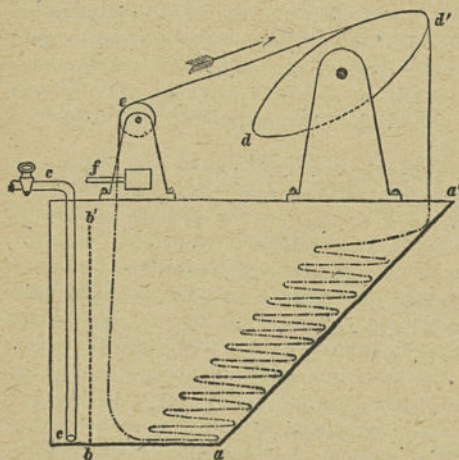


Fig. 337. — Cuve à teindre les tissus et les écheveaux (cuve à tube de vapeur).

matières colorantes très brillantes. Ces matières peuvent être divisées en colorants *acides* et en colorants *basiques* ; les colorants acides ne teignent pas le coton, ils ne teignent la laine et la soie que si on leur ajoute un acide ; les colorants basiques teignent directement la laine et la soie ; ils forment avec le *tanin* une combinaison insoluble, par conséquent, une sorte de laque, ce qui permet de fixer ces couleurs sur le coton par l'intermédiaire de ce mordant organique.

Le noir d'aniline s'obtient facilement en traitant le coton, par exemple, par l'aniline et l'acide chlorhydrique, de manière à former un sel d'aniline, puis en faisant agir sur celui-ci un corps oxydant, comme un sel de cuivre et du chlorate de potassium. Ce noir est extrêmement solide, inaltérable par les acides et les alcalis. C'est un exemple de couleur de *synthèse* sur tissu, ou développée sur fibre, absolument comme dans le cas de la *cuve d'indigo*.

La *fuchsine* est un colorant rouge dérivé de l'aniline; il existe des bleus, des jaunes, etc., formant une gamme extrêmement variée. Citons encore les couleurs dites *azoïques*.

D'une manière générale, les couleurs d'aniline ont une grande affinité pour les matières animales : laine, soie, albumine, caséine; aussi la teinture de la laine et de la soie peut-elle se faire *sans aucun mordant*, par simple immersion dans la solution colorante, à froid pour la soie; à chaud pour la laine (afin de chasser les bulles d'air adhérentes et de faciliter la pénétration du colorant).

Quant au coton et aux fibres végétales, ils ne se combinent pas directement aux colorants artificiels (sauf avec les couleurs dites *tétrazoïques*), et exigent, par conséquent, l'intervention d'un mordant. On a alors quelquefois recours à l'*animalisation* en plongeant le coton dans une solution d'albumine ou de caséine, puis *vaporisant* (c'est-à-dire exposant à un jet de vapeur), pour coaguler et fixer le mordant organique.

Mais le procédé le plus généralement usité est celui au tanin; cette substance ayant, comme on l'a dit, la propriété de former avec la rosaniline et ses dérivés et avec tous les colorants basiques, des combinaisons insolubles et colorées. Il suffit alors de mélanger ensemble le *tanin*, la *matière colorante* et de l'*acide acétique*, ce dernier étant destiné à dissoudre la combinaison colorée; si l'on vient ensuite à *vaporiser*, l'acide acétique est éliminé, tandis que la couleur est fixée indissolublement. La teinture des tissus mélangés présente des difficultés spéciales, par suite de l'affinité différente, élective, des diverses fibres pour un même colorant.

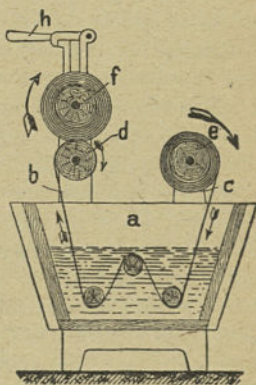


Fig. 338. — Jigger, cuve en bois servant surtout pour la teinture des tissus de coton.



Quant au matériel utilisé en teinture, il se compose de cuves en bois (*barques*), ou en métal émaillé, dont la forme, la disposition et la grandeur varient à l'infini et dans le détail desquelles nous ne pouvons pas entrer ici ; nous nous contenterons d'en donner une idée par les deux figures 337 et 338.

### 3° Impression des tissus.

Le but de l'impression est de déterminer la formation de dessins blancs ou colorés, soit à la surface du tissu, soit dans la masse même de celui-ci.

Diverses méthodes générales peuvent permettre d'atteindre ce but : il y a d'abord l'application *directe*, ou *impression par application*, en surface ou en profondeur, puis les méthodes indirectes, par *réserves* ou par *enlevages*.

1° *Méthodes directes*. — Il est possible d'employer la méthode directe suivant un grand nombre de procédés variés.

Celui qui est le plus direct consiste à appliquer, sur les régions qui doivent constituer le dessin, un mélange du *colorant* et du *mordant* épaissi avec de la gomme, de la dextrine ou de l'amidon, afin que la matière colorante ne déborde pas au delà des contours limitatifs du dessin. Il s'agit ensuite de faire pénétrer ces substances, partout où il le faut, dans la masse même du tissu ; on y parvient par le *vaporisage*, ou exposition à l'action de la vapeur d'eau ; le colorant et le mordant réagissent alors dans les pores de la fibre et donnent naissance à une teinte solide ; il suffit ensuite de laver pour enlever l'épaississant. Bien entendu, le procédé reste le même, en l'absence de mordant, pour une *couleur substantive*. Par exemple, voulons-nous faire une impression solide en bleu d'*indigo* sur calicot, faire en un mot ce qu'on appelle une *indienne*, ou toile de coton imprimée ; nous commencerons par mélanger de l'*indigo réduit* (voir antérieurement), décoloré, soluble, avec un épaississant, tel que gomme ou empois, additionné d'acide tartrique ou oxalique, nous imprimerons le tissu, sécherons à moitié, puis nous vaporiserons de façon à faire pénétrer le



colorant dans la fibre même et produire en même temps l'oxydation nécessaire à la régénération du bleu insoluble ; puis nous laverons abondamment et sécherons.

Toutes ces opérations peuvent se faire à la main ou mécaniquement.

A) *A la main.* — Le procédé est comparable à celui qui est usité pour l'imprimerie typographique, au moyen d'une *planche plate*, gravée et enduite du mélange à déposer ; cette planche, ou *bloc*, généralement en poirier, était encrée par contact avec un *tampon* de drap imbibé du colorant, et appliquée sur le tissu par pression ou par choc d'un maillet ; une fois le dessin reproduit à un endroit, on recommençait un peu plus loin, en raccordant, et ainsi de suite, de proche en proche. On pouvait avoir plusieurs blocs dans le cas où le dessin exigeait diverses couleurs.

B) *Mécaniquement.* — Le procédé de la *planche plate*, mue à la main, est pour ainsi dire abandonné à cause de son faible rendement. Il fut d'abord remplacé par la *perrotine*, toujours basée sur l'emploi de la planche, mais mue mécaniquement. Un grand progrès, au point de vue de la rapidité d'exécution, fut ensuite réalisé par la substitution de *rouleaux* et de machines *rotatives*, de travail continu, à cette antique planche n'opérant que d'une manière discontinue. La figure 339 représente schématiquement l'agencement général d'une telle machine continue : *a* est le rouleau gravé *en creux* qui se trouve garni de colorant par le contact avec le rouleau *encreur d* et dépouillé de l'excès de matière par le frottement des râcles *e* et *m* ; *b* est un cylindre *presseur* qui a pour rôle d'appliquer fortement l'étoffe contre le rouleau imprimeur, de façon à faire pénétrer le tissu dans les détails creux de la gravure ; pour donner plus d'efficacité à ce travail, on interpose, entre le rouleau gravé et le cylindre presseur, une *étoffe sans fin i*, appelée *doublier*, formée de plusieurs couches d'un tissu de coton rendues adhérentes par une imprégnation de caoutchouc. Enfin, on dispose encore, entre l'étoffe à imprimer qui se déroule en *k*, et le doublier *i*, une deuxième toile sans fin *h*, appelée *coursier*, qui a pour fonction d'empêcher le doublier d'être sali

par la couleur. Comme on le voit, le coursier et le doublier courent sans interruption entre le tissu à travailler et le rouleau

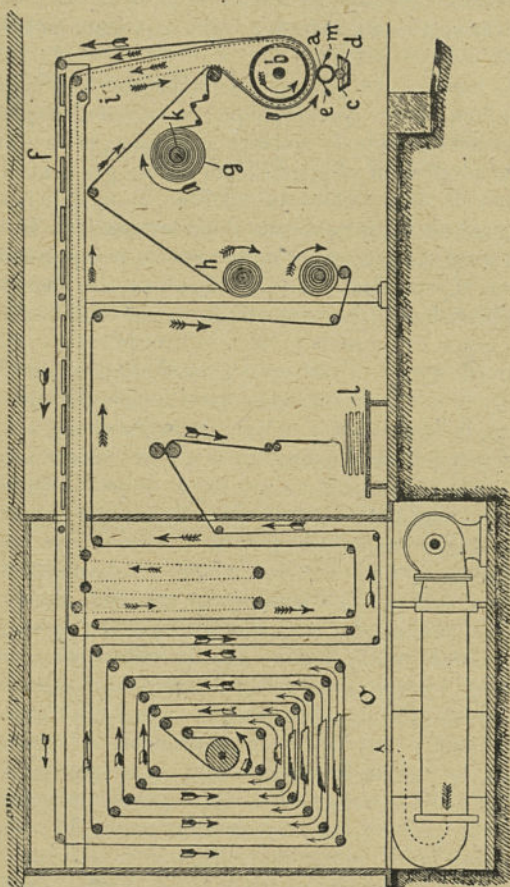


Fig. 339. — Machine à imprimer les tissus.

imprimeur. L'ensemble de ces trois couches passe entre les plaques chaudes *f* et arrive ensuite automatiquement dans le



séchoir *o*, selon le trajet qu'indiquent les flèches; le tissu se sépare ensuite de ses satellites et vient finalement se plier automatiquement en *l*. Dans le cas où l'on aurait à imprimer plusieurs couleurs, il faudrait un nombre de rouleaux imprimeurs égal à celui des teintes à produire (fig. 340).

Le procédé que nous venons de décrire donne une teinture d'application dite *solide*, parce qu'en effet l'adhérence qu'il détermine est entièrement comparable à une véritable teinture par places. Il est, de beaucoup, préférable à la simple *pigmentation* superficielle, sans mordant, qui

n'est qu'un dépôt plus ou moins adhérent du colorant, mélangé d'albumine, de caséine ou de vernis, substances coagulables ou fixatrices, ne produisant qu'une *application mécanique* absolument comparable à une *peinture* extérieure et non à une véritable teinture pénétrante.

Une autre variante de la méthode directe consiste à appliquer d'abord sur le tissu un *mordant* épais par la gomme ou l'empois, puis à sécher et à laisser à l'*étendage*; par ce dernier on expose le tissu dans une atmosphère chaude et humide pendant une demi-heure, ce qui a pour effet de ramollir l'épaississant et de permettre au mordant d'imbiber complètement les pores de la fibre. On fait suivre du *bousage*, ainsi appelé parce qu'autrefois et souvent encore maintenant, les pièces étaient immergées dans une cuve contenant de la bouse de vache délayée dans l'eau chaude; le but de cette opération, qu'on peut remplacer

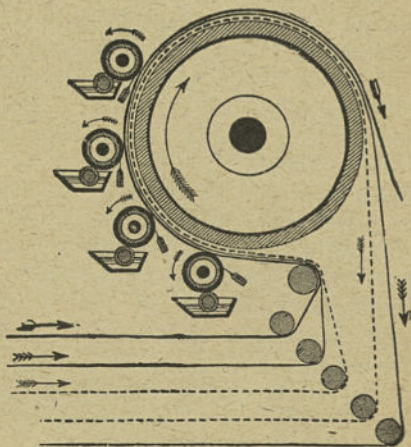


Fig. 340. — Machine pour l'impression sur tissu en quatre couleurs.



par un traitement au phosphate ou au silicate de soude, est de fixer plus complètement sur la fibre la portion du mordant qui est restée inaltérée pendant l'étendage, d'empêcher l'action de ce mordant au delà des contours à l'intérieur desquels il a été déposé, et enfin d'éliminer l'épaississant afin de permettre ultérieurement au bain de teinture de mieux atteindre les parties mordancées ; cette élimination est le plus sûrement atteinte par l'immersion pendant une à deux heures, dans une décoction de son qui, par sa *diastase* encore présente, a pour effet de transformer l'empois d'amidon en dextrine et en sucres solubles. Après avoir rincé, on plonge le tissu dans le bain de teinture et on termine par un lavage qui enlève la teinte partout où le mordant n'a pas été déposé. Comme, par suite de tous ces traitements, la couleur est un peu terne, on l'avive par un léger bain de savon acidulé.

2° *Méthodes indirectes.* — A) *Procédé par réserves ou réservages.* — Il consiste dans l'impression sur le tissu, avant la teinture, d'une préparation susceptible de s'opposer à la fixation du mordant ou de la teinture aux endroits qui ont reçu le dépôt, c'est-à-dire qui ont été *réservés*; on peut employer des réserves dites *mécaniques*, composés de substances imperméables telles que la cire, le suif, la terre de pipe, etc., ou bien des *réserves chimiques* qui auront pour mission de décomposer le colorant avant sa pénétration. On traite ensuite le tissu par le bain de teinture qui produit son effet partout où il n'y a pas de *réserves*, ou *résistes*. Par exemple, le *noir d'aniline* ne peut naître que si l'on réunit ensemble en un même point l'*aniline*, un *acide* et un *oxydant*; d'où il résulte que toute partie d'un tissu sur laquelle on aura déposé un corps susceptible de contrarier l'action d'une des substances précédentes, comme un *alkali* ou un *réducteur*, sera réservée en blanc. On termine par un lavage approprié. Ce procédé est moins bon que le suivant, l'enlèvement par rongeurs.

B) *Impression par enlevages ou rongeurs.* — Le tissu est imprégné de mordant, puis séché et ensuite imprimé avec un rongeur additionné d'un épaississant pour éviter le *coulage*. Partout où le rongeur est appliqué, il décompose et élimine le

mordant, de sorte que, lorsqu'on plongera l'étoffe dans le bain de teinture, celle-ci n'agira qu'aux points non imprimés, donc non rongés. Les rongeurs les plus usités sont le sel d'étain (chlorure stanneux), l'acide chromique, le sulfate ferreux, le chlorure de chaux, etc. ; on emploie même des *rongeurs de rongeurs*, comme les acides tartrique et citrique.

Le procédé par *enlevages* peut évidemment être encore appliqué sur couleurs *substantives*, donc n'exigeant pas l'emploi d'un mordant ; dans ce cas, l'action du rongeur doit se porter sur le colorant lui-même ; soit, par exemple, à faire des enlevages en blanc sur fond bleu ; le coton sera passé en cuve d'indigo comme cela a été expliqué antérieurement ; après cuvage, on imprimera au rouleau ou à la planche, partout où le dessin doit apparaître, une préparation oxydante énergique d'acide chromique, ou de bichromate acidifié, mélangé d'un épaississant ; on séchera et vaporisera, puis on lavera abondamment.

Les enlevages ont, sur les réserves, l'avantage de produire des contours plus nets, moins sujets au *coulage*. Quelques couleurs extrêmement résistantes, comme le noir d'aniline, ne se prêtent évidemment pas au genre d'impression par enlevages, car la plupart des ingrédients chimiques qui seraient capables de décomposer le noir corroderaient en même temps le tissu, et la marchandise serait *perdue*.

#### 4° Apprêt des tissus.

Lorsque les tissus sortent de l'atelier de teinture, ils ont un aspect peu engageant : plus ou moins fripés ou chiffonnés, flasques ou trop rigides, de largeur irrégulière, ils n'ont pas ce qu'on appelle l'aspect *marchand*, l'apparence nécessaire pour séduire l'acheteur. Le but de l'*apprêt* est précisément de donner aux tissus ce qui leur manque encore : un aspect agréable, de la régularité, du brillant, de la souplesse et du maintien ; c'est ce à quoi l'on parvient par une série d'imprégnations et de traitements mécaniques.



A) Les substances d'imprégnation, ou *matières d'apprêt*, peuvent se classer en trois catégories :

1<sup>o</sup> Celles qui ont un pouvoir épaississant et qui donneront du maintien, de la rigidité : fécule, amidon, dextrine, gomme arabique, colle, gélatine ;

2<sup>o</sup> Celles qui *chargeront* le tissu, c'est-à-dire qui lui communiqueront une augmentation de poids ; ce sont des sels *neutres*, sans action chimique sur les couleurs : sel marin, sulfate de soude ou de magnésie, etc. ;

3<sup>o</sup> Enfin les substances adoucissantes, assouplissantes : glycérine, chlorures de magnésium, d'aluminium, de calcium, etc., toutes matières plus ou moins hygroscopiques.

Pour *impermeabiliser* un tissu, on peut l'imprégner de caoutchouc, ou bien d'une substance telle que l'acétate d'alumine, la presser, puis la plonger dans une solution bouillante de savon, ce qui a pour effet de provoquer la formation dans les mailles du tissu, d'un savon insoluble d'alumine. De même la toile à voile est imprégnée d'alun et de pyrolignite de chaux.

B) Les traitements mécaniques consistent en étirages, en calandrages entre cylindres chauffés, moirages, gaufrages et parfois foulages (pour la laine).

Entre l'imprégnation de l'apprêt et le séchage subséquent, on soumet le tissu à un étirage pour le mettre à la *laize*<sup>1</sup> ; à cet effet, l'étoffe est tendue sur des *rames*, sorte de cylindres qui retiennent les lisières au moyen de picots ou de pinces.

Le *moirage* est obtenu par l'action de cylindres faisant frotter diverses parties de l'étoffe les unes sur les autres.

Le *gaufrage* est produit au moyen d'un cylindre en cuivre, chauffé intérieurement, et gravé en creux ; en regard et très près de celui-ci s'en trouve un autre, en carton comprimé, portant en relief la contre-partie des creux du premier. L'étoffe, légèrement humectée, passant dans cette espèce de laminoir, se trouve comprimée et gaufrée aux endroits gravés.

1. La *laize* est la différence en plus ou en moins de la largeur réelle d'une étoffe sur celle qu'elle devrait avoir légalement. On prend quelquefois le mot *laize* dans le sens de largeur même.



Ces généralités étant établies, nous allons passer rapidement en revue leur application aux cas particuliers.

**Tissus coton.** — Ils sont gommés, ramés, séchés et calandrés. Ils sont aussi parfois *lainés*, c'est-à-dire que leur surface est traitée, comme nous le verrons plus loin pour la laine, de façon à faire ressortir des filaments de duvet ; on obtient ainsi les genres *molleton*, *pilon*, *flanelle de coton*, etc.

Une opération importante est celle du *mercerisage*, pratiquée pour la première fois par Mercer, vers le milieu du siècle dernier. Elle consiste à traiter le coton par une solution de soude caustique ; l'étoffe, abandonnée ensuite à elle-même, subirait une *rétraction* considérable pouvant dépasser le quart de la dimension primitive. Si l'on s'oppose à cette contraction en maintenant la fibre tendue énergiquement, celle-ci prend un aspect brillant, magnifique et persistant, rappelant celui de la soie. En même temps, la matière textile a acquis un pouvoir de fixation beaucoup plus considérable pour les mordants et les colorants.

On peut tisser une étoffe avec des fils de coton, sensibles au mercerisage, et d'autres fils de nature différente, insensibles à l'action en question ; il en résulte un tissu qui, par les différences de rétraction, présente des effets de crépon.

**Tissus de soie et de laine.** — Comme le coton, les tissus de soie et de laine sont gommés pour leur donner du maintien, ramés pour les mettre à la laize ou à la largeur voulue, puis pressés pour effacer les plis et leur communiquer un aspect brillant. Mais les tissus de *laine* cardée subissent auparavant toute une série de traitements spéciaux, destinés à les transformer en *drap*, et que nous allons énumérer brièvement.

**Draperie.** — On commence d'abord par dégraisser l'étoffe de laine, qui vient du tissage et qui est encore tout imprégnée de l'huile d'*ensimage* ; dans ce but, le tissu est plongé dans une cuve, ou un clapot, contenant de l'eau dans laquelle on a délayé de l'argile *smectique* (ou *terre à foulon*) ; celle-ci a la propriété d'absorber la matière grasse ; on sort ensuite l'étoffe, on la rince et on la fait sécher. On la soumet ensuite à l'importante

et caractéristique opération du *foulage*, qui consistait autrefois à faire subir à la laine, humectée d'eau savonneuse, l'action d'une série prolongée de chocs et de refoulements produits par des maillets de forme spéciale (moulin à foulon); cette opération est faite aujourd'hui mécaniquement par passage de l'étoffe entre deux cylindres et à travers une fente d'ouverture variable; les fibres s'enchevêtrent, se *feutrent* et le tissu augmente d'épaisseur et de solidité. Le drap passe ensuite entre les piquants d'une série de *chardons*, naturels ou métalliques, enchâssés autour d'un grand tambour : c'est l'opération du *lainage*, qui a pour but de velouter l'étoffe en faisant relever les poils et les couchant tous dans le même sens; on ne distingue plus alors l'entrelacement des fils. Vient ensuite le *tondage*, au moyen d'une lame coupante hélicoïdale, pour égaliser les filaments, le *lustrage* par calandrage et, enfin, si celui-ci est trop accentué, le *décatissage* par tamisage de vapeur d'eau surchauffée sous pression.

## V. — CHAPELLERIE — CORDONNERIE GANTERIE

**Chapellerie.** — Les chapeaux les plus répandus sont ceux en feutre pour l'hiver et ceux en paille pour l'été. On porte encore, dans certaines circonstances, le chapeau de soie, dit *haut-de-forme*.

1<sup>o</sup> **Chapeaux de feutre.** — Ils sont constitués par une étoffe non tissée, formée de poils laineux, *feutrés*, emprisonnant ou soutenant des poils plus fins, mais non feutrables par eux-mêmes, tels que ceux de lièvre ou de lapin; on parle encore du castor, mais plutôt comme souvenir historique.

Les poils de lièvre ou de lapin sont d'abord soumis à une opération, dite *secrétage*, ayant pour but de leur communiquer une torsion et une crispation qui facilite leur entrelacement avec les poils de laine feutrables qui forment le fond du tissu.



Ce secrétage consiste à imbiber les poils en question avec une solution mercurique.

Vient ensuite l'opération fondamentale du *bastissage*, ou bâtissage de la galette feutrée, en forme de cloche, qui sera le corps même du chapeau; on se sert maintenant dans ce but, d'une machine dont la figure 341 indique le principe; C est une cloche en cuivre, perforée, pouvant tourner lentement autour

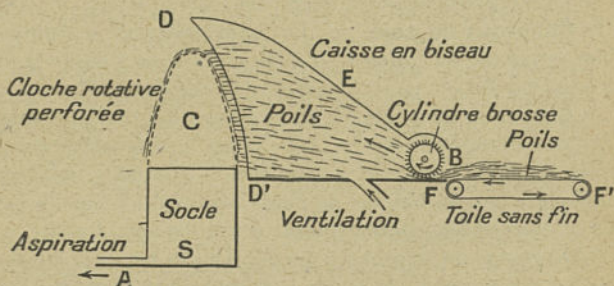


Fig. 341. — Chapellerie, opération du *bastissage*.

de son axe vertical, au-dessus d'un socle S dans lequel on produit une énergique aspiration. Les poils convenablement mélangés en plusieurs sortes, sont placés sur la toile sans fin FF' les amenant devant un cylindre-brosse B qui, lui-même, les projette à l'intérieur d'une caisse E terminée en fente à biseau DD' tout contre la cloche C. Sous l'action d'une ventilation énergique produite dans la caisse, les poils sortent par la fente, sont immédiatement happés par l'aspiration du socle et viennent s'appliquer sur la cloche qui, par suite de sa rotation, se trouve bientôt coiffée d'une couche régulière de poils. On fixe alors momentanément ceux-ci par une aspersion d'eau bouillante, ce qui permet de les retirer en une galette ayant la forme d'une cloche; on assure la forme fragile ainsi obtenue par un premier feutrage à la main et on termine par un énergique feutrage mécanique, en faisant passer le tissu entre des cylindres animés d'un double mouvement de rotation et de translation longitudinale suivant l'axe; sous l'action de cette *pression* et de



cette *friction* simultanées, ainsi que de l'eau acidulée sulfurique très chaude dont on l'arrose constamment, la matière se feutre et prend une grande consistance. La cloche est ensuite mise sous forme et adoucie par le ponçage, puis teinte en noir, imprégnée d'un apprêt et mise dans une machine à *presser* et à *dresser*; dont l'organe essentiel est un moule, ou matrice, donnant la forme définitive. Il ne reste plus qu'à border, mettre la coiffe intérieure et poser le cuir de tour de tête.

2<sup>o</sup> **Chapeaux de soie.** — Le haut-de-forme se compose d'une *carcasse*, ou galette en toile enduite de gomme laque, obtenue sur *forme*, puis recouverte de peluche de soie.

3<sup>o</sup> **Chapeaux de paille.** — Deux phases dans la fabrication.

A) Obtention de la cloche : celle-ci est formée soit de rubans étroits de paille tressée et cousus ensuite ensemble, soit d'une seule pièce par un nattage de fibres rayonnant depuis le sommet et entrelacées, comme dans le genre Panama, Manille, etc.

B) *Dressage* ou apprêt sur forme. La cloche, imprégnée de gélatine, de gomme, de vernis, est introduite dans une *dresseuse mécanique* dont l'organe essentiel est une forme chauffée à la vapeur; la cloche y prend place et est recouverte d'une feuille de caoutchouc fixée d'une manière étanche à un couvercle que l'on rabat et où l'on fait arriver de l'eau chaude sous pression; le caoutchouc vient alors s'appliquer sur l'intérieur du chapeau et le force à prendre la forme du moule.

On blanchit ensuite à l'acide sulfureux et on termine par le garnissage ordinaire.

**Cordonnerie.** — On désigne ainsi le genre d'industrie qui a pour but la fabrication des chaussures, à l'exclusion des sabots. La matière la plus employée pour cette confection est le cuir : fort et épais pour la *semelle* et la *talon*, souple pour le dessus composé de la *tige*, qui enveloppe la jambe, et de l'*empeigne* qui s'étend depuis le cou de-pied jusqu'à la pointe. L'intérieur est garni d'une *doublure* en toile ou en cuir mince et très doux, pour faciliter l'introduction du pied; la position de celui-ci dans la chaussure est assurée, à l'arrière, par un *contrefort*. La semelle se compose de trois parties : à l'intérieur se trouve la *première*; à l'extérieur, la *seconde* qui prendra

contact avec le sol; entre les deux, un remplissage flexible appelé *cambrion*, formé souvent de déchets juxtaposés. Le talon s'obtient en superposant un certain nombre de rondelles de cuir fort et les réunissant par des chevilles, ou clous sans tête.

La fabrication d'une chaussure comprend d'abord la *préparation* des diverses pièces dont il vient d'être question et ensuite leur *montage*.

**Préparation des pièces.** — Les diverses pièces sont découpées dans le cuir, en suivant le contour de gabarits ou *patrons* en zinc, préalablement fabriqués à la forme voulue. Les dessus, tiges et empeignes, sont assemblés avec leurs doublures par des ouvrières appelées *piqueuses*, parce qu'elles cousent ou piquent à la machine; elles achèvent leur travail en pratiquant les trous ou *œillets* nécessaires et posant soit les boutons, soit les crochets dans le cas d'une chaussure à cordons<sup>1</sup> ou à lacets.

Le dessus est ensuite livré à l'ouvrier monteur cordonnier qui va assembler toutes les pièces de la chaussure, soit manuellement, soit mécaniquement.

A) *Manuellement.* — Le cordonnier travaille assis, devant une *forme* en bois ayant exactement les dimensions de la chaussure à fabriquer; ses autres outils sont un marteau à tête plate pour assouplir le cuir, ou enfoncer des clous, un couteau aigu et sans manche appelé *tranchet*, des pinces, du fil de chanvre enduit de poix, un poinçon courbé appelé *alène*; enfin un *tire-pied*, sorte de courroie sans fin servant à maintenir la chaussure sur la forme par la pression du pied gauche.

Pour monter la chaussure, le cordonnier commence par assembler le dessus avec la *première* sur laquelle il a préalablement entaillé tout le long du bord, avec son tranchet, une ligne appelée *gravure*, destinée à guider son travail; la réunion de la première avec le dessus se fait par l'intermédiaire d'une bande *mince* appelée *trépointe*. La couture est exécutée non avec une aiguille, mais en perçant une série de trous avec le poinçon et introduisant ensuite, dans chacun de ceux-ci, deux

1. D'où le nom donné à la profession.



*fil*s à la fois, dirigés en sens contraires et sur lesquels on tire énergiquement, réalisant ainsi une couture double. Le cordonnier met ensuite en place le cambrion et y superpose la semelle *seconde* qu'il réunit à la trépointe, comme il l'a déjà fait pour la première. Il achève en formant le talon comme cela a été indiqué, en polissant la semelle, repassant les bords avec un fer chaud et rabattant la gravure au marteau. On a ainsi une chaussure dite *cousue-main*.

B) *Mécaniquement*. — Toutes les opérations précédentes peuvent être effectuées au moyen de machines très ingénieuses, donnant un travail irréprochable, mais dont l'extrême complexité ne nous permet pas de placer la description ici.

On fabrique aussi des chaussures dont les diverses pièces sont assemblées par le moyen de clous, de vis, de chevilles en bois.

*Ganterie*. — Les gants peuvent être en *peau*, en *étouffe* ou en *fil* ; ces derniers sont tissés dans le genre tricot, les précédents sont cousus et n'offrent rien de particulier. Quant aux premiers, ils sont confectionnés avec des cuirs non tannés, donc simplement *mégis* (traitement par l'alun) ou chamoisés (traitement par l'huile).

La peau, après divers traitements ayant pour but de l'assouplir, est teinte du côté fleur (côté poil), au moyen d'une brosse imbibée du colorant. Après séchage, la peau est étirée et râclée, du côté chair, au moyen d'une lame plate et tranchante appelée *dolloir*, ce qui a pour effet de l'amincir et de l'assouplir encore. Elle est ensuite découpée à l'emporte-pièce, un grand nombre de feuilles à la fois, refendue suivant les digitations, exception faite pour le pouce qui est assemblé à part. On coupe encore les petites bandes latérales des doigts, ou *fourchettes*, et on coud le tout à la machine par point de surjet.

Les gants dits de *Suède* sont fabriqués d'une manière analogue, mais en présentant le côté chair en dehors au lieu d'en dedans.



VI. — AIGUILLES ET ÉPINGLES — BOUTONS  
BROSSES ET PEIGNES

**Aiguilles.** — Le fil d'acier qui doit servir à la fabrication des aiguilles est d'abord découpé en tronçons de longueur double de celle d'une aiguille; ces morceaux sont ensuite assemblés par paquets et soumis au dressage rectiligne par frottement, roulement et pression entre une plaque fixe et une plaque mobile animée d'un mouvement pendulaire. On détermine ensuite la production de la pointe (empointage), en appliquant l'extrémité d'un certain nombre de brins sur la périphérie d'une meule en mouvement et recommençant identiquement pour l'autre extrémité.

La tête est ensuite façonnée par estampage, percée par poinçonnage et le tronçon séparé en deux morceaux. L'aiguille a ainsi acquis sa forme définitive, on la rougit, on la trempe à l'eau froide et on la recuit, le trou ou *chas* est régularisé à la fraise et on termine par un polissage au rouge d'Angleterre, puis au buffle. Toutes ces opérations sont maintenant effectuées mécaniquement par des appareils très compliqués.

**Épingles.** — Elles sont en laiton ou en acier. Les opérations de découpage du fil métallique en tronçons de longueur double, le dressage, l'empointage et le dédoubleage sont analogues à ce qui a été décrit pour les aiguilles; la formation de la tête, seule, diffère. Celle des épingles en acier est obtenue par refoulement, après détrempage préalable; celle des épingles en laiton peut se fabriquer de même, ou bien par enroulement de deux ou trois spires de fil du même métal et refoulement au balancier ou au mouton. Les épingles sont finalement étamées par immersion dans un bain bouillant contenant de l'eau, de l'acide tartrique et de la grenaille d'étain.

Comme pour les aiguilles, tout le travail précédent peut se faire au moyen de machines très perfectionnées comme rendement et qualité des produits obtenus.

**Boutons.** — Ils peuvent être en bois, en corozo (ivoire végétal), en os, en nacre, en corne, en feldspath (communément *porcelaine*) ou en métal.

A) Boutons en bois, corozo, os, nacre.

La matière d'œuvre est d'abord débitée en petites plaquettes d'une épaisseur un peu plus grande que celle du bouton, pour tenir compte du déchet. Chacune de ces plaquettes est ensuite travaillée au tour, au moyen d'une *mèche de forme* qui produit à la fois le découpage circulaire, le moulurage et le perçage central ; s'il doit y avoir plusieurs trous, ceux-ci sont percés d'un seul coup au moyen d'une foreuse à autant de mèches simultanées. Les boutons sont ensuite polis au blanc d'Espagne humecté d'eau savonneuse.

B) Boutons en corne. — La matière est débitée, comme précédemment, en plaquettes ; celles-ci sont ensuite ramollies par l'eau chaude et découpées en rondelles, ou *flans*, qui sont ensuite estampées à chaud et percées.

C) Boutons dits en porcelaine. — Ils sont d'abord moulés au moyen de feldspath pulvérisé et humecté, et ensuite cuits jusqu'à demi-vitrification, comme des objets en porcelaine.

D) Boutons en métal. — La feuille de métal, cuivre, tôle, est découpée en flans et estampée ; s'il y a deux pièces, le dessus ou *coquille* est agrémenté de dessins en relief par embouissage ; le dessous ou *culot* est obtenu de même, sans dessins, et serti avec la coquille, après adjonction d'une queue rivée à l'intérieur.

**Brosserie.** — Une brosse se compose de deux parties : les *soies* vulgairement appelées *poils* de la brosse (porc, sanglier, crin animal ou végétal, chiendent, etc.), et la *patte* ou dos. La fabrication comprend d'abord la préparation de ces deux parties, puis leur montage.

A) Préparation des soies. — Après un nettoyage et un peignage, les soies sont *redressées*, dans le but de leur donner la rectitude et la raideur nécessaires ; à cet effet, elles sont assemblées en paquet ligaturé, mouillés à l'eau bouillante et séchées à l'étuve sèche.

B) Préparation de la patte. — Celle-ci est découpée sous



forme d'une planchette, dans le bois ou la corne, etc., dégrossie à la lime-râpe, polie au blanc d'Espagne savonneux et enfin percée des trous nécessaires pour y introduire les soies.

C) **Montage.** — Un fil métallique souple ou une bonne ficelle, est introduite dans un des trous, sous forme d'une boucle qui dépasse l'autre face de la patte; dans cette boucle, on fait chevaucher un petit pinceau recourbé qui se trouve ainsi suspendu et qu'on n'a plus ensuite qu'à fixer dans le trou correspondant en tirant fortement sur la ficelle (fig. 342); on passe ensuite au trou suivant, en répétant la même opération sans jamais couper la corde, et ainsi de suite jusqu'au dernier trou après lequel on fixera fortement le bout de ficelle. On recouvre ensuite le dos de la patte avec une plaque polie ou ornementée qu'on fixe au moyen d'une couche de colle forte chaude, dont une partie descend dans les trous et soude les têtes de pinceaux et les boucles de corde. On termine en égalisant la longueur des soies.

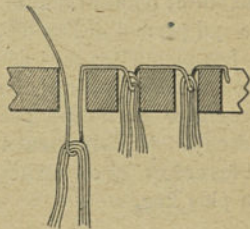


Fig. 342. — Montage des soies dans la patte de la brosse.

Dans certaines brosses, les trous ne traversent pas la patte de part en part; ils s'arrêtent à un canal foré longitudinalement et dans lequel on fait passer la ficelle de fixation; il suffit de tirer celle-ci par chaque trou, de proche en proche, au moyen d'un crochet et de faire ressortir ainsi une boucle dans laquelle on introduit un pinceau, etc.

**Peignes.** — La matière première, buis, ivoire, corne, écaille, ébonite, celluloid, etc., est d'abord découpée en plaquettes de la grandeur du peigne. L'écaille provient des grosses tortues appelées *carets*; c'est une matière qui se ramollit à la chaleur et peut alors se travailler et se souder à elle-même. La corne de bœuf ou de buffle est d'abord vidée de la moelle intérieure par un séjour prolongé dans l'eau froide, sciée à ses extrémités, chauffée, fendue longitudinalement, développée avec des pinces plates et maintenue sous pression jusqu'à



refroidissement, après lequel elle se présente sous l'aspect d'une feuille plane.

L'ébonite est du caoutchouc durci par une forte proportion de soufre; le celluloïd est composé de nitro-cellulose, ou fulmicoton, et de camphre, agglomérés par l'alcool et soumis à une forte pression. C'est un produit très dangereux par son inflammabilité; il imite l'écaille, mais ses bords ne sont pas aussi nets, ce qui permet de l'en distinguer à première vue.

Les plaquettes sont découpées à la forme voulue, puis chacune d'elles, insérée dans les mors d'un chariot mobile, vient présenter son bord à l'action d'une mince scie circulaire qui découpe successivement toutes les dents. On adoucit les pointes et les arêtes, et on termine par une série de polissages, de plus en plus fins.

---

## CHAPITRE VII

# INDUSTRIES DU LOGEMENT ET DE L'AMEUBLEMENT

SOMMAIRE. — *Notions sur la construction des maisons. — Charpente, menuiserie et ébénisterie. — Papiers peints. — Porcelaines. — Faïences. — Poteries. — Verre et cristal. — Chandelles. — Bougies. — Gaz de l'éclairage. — Eclairage électrique.*

### I. — NOTIONS SUR LA CONSTRUCTION DES MAISONS CHARPENTE, MENUISERIE ET ÉBÉNISTERIE

#### 1<sup>o</sup> Etablissement du projet de construction.

La construction d'une maison un peu importante est une entreprise très complexe exigeant la coopération d'un grand nombre de corps de métiers ; cette collaboration doit être prévue et étudiée d'avance dans les moindres détails, afin d'éviter les fausses manœuvres et leur répercussion fâcheuse sur le prix de la construction.

Celui qui veut faire bâtir doit d'abord bien fixer dans son propre esprit les grandes lignes de ce qu'il désire obtenir, d'après les moyens financiers dont il dispose, et traduire ensuite graphiquement sur le papier le résultat de cette méditation. Il confiera généralement ce soin à un architecte qui fera une étude complète du projet.

Cette représentation graphique s'obtient par les procédés habituels du dessin et de la géométrie descriptive. On rapporte

la position et la forme d'un objet à deux plans fondamentaux pris comme repères de comparaison, l'un horizontal ou « sol », l'autre vertical ou « mur » ; de chaque point A de l'objet

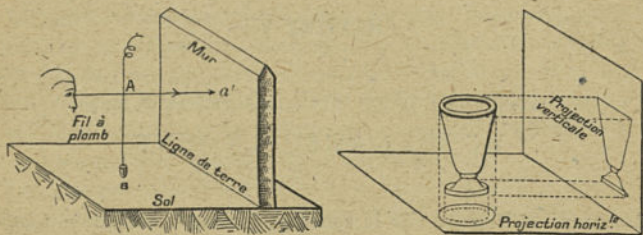


Fig. 343. — Principe des projections, ou représentation géométrale des objets.

(fig. 343) on mène deux droites perpendiculaires entre elles : l'une verticale, suivant par conséquent la direction du fil à plomb, et qui rencontre le sol en un point *a* qu'on appelle *projection horizontale de A*, l'autre ligne *Aa'*, horizontale, perce le mur en un point *a'* dit *projection verticale de A*. Si l'on suppose la même opération, répétée pour chacun des points, tels que A, du corps ou de l'objet, l'ensemble des points *a* sur le sol représente la projection horizontale ou *plan* de l'objet, l'ensemble des points *a'* sur le mur forme la projection verticale, ou *élévation*. On peut encore « projeter » l'objet sur un

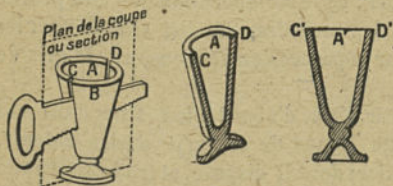


Fig. 344. — Objet représenté par une coupe.

second plan vertical perpendiculaire au premier, d'où l'obtention d'une projection verticale latérale ou de côté.

Enfin la distribution intérieure d'un objet est rendue plus claire en dessinant des « coupes » suivant certains plans convenablement choisis. Pour en faire comprendre le principe, supposons qu'après avoir repré-



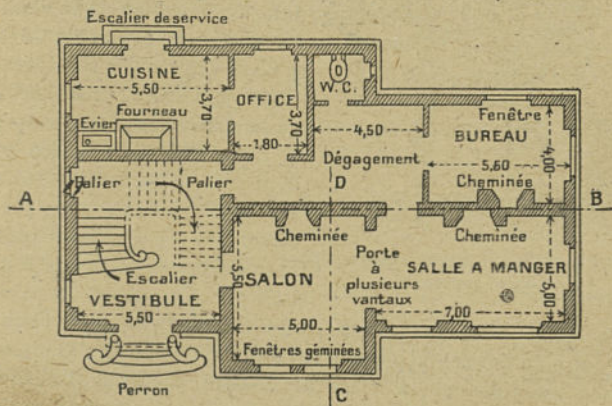
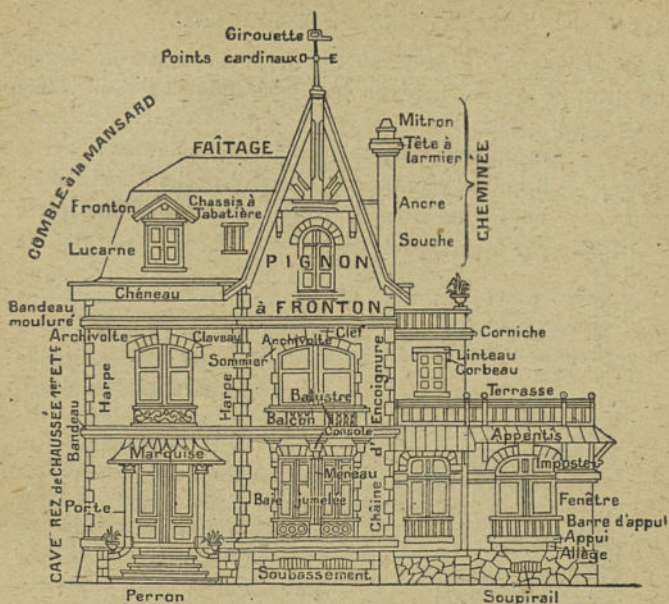


Fig 315. — Représentation d'une maison par la méthode habituelle : plan, coupe, élévation; les cotes sont exprimées en mètres.

En haut : élévation de la façade principale;

En bas : plan-coupe du rez-de-chaussée à 1 mètre au-dessus du sol.

senté la vue extérieure d'un vase, nous coupons celui-ci par un trait de scie de haut en bas, opération purement idéale mais qu'on pourrait réaliser si on le voulait (fig. 344). Nous avons ainsi deux moitiés A et B; enlevons la partie B qui est vers nous et observons celle A qui reste : nous apercevons la coupe proprement dite tracée par le passage de la scie et, en arrière, ce qui n'a

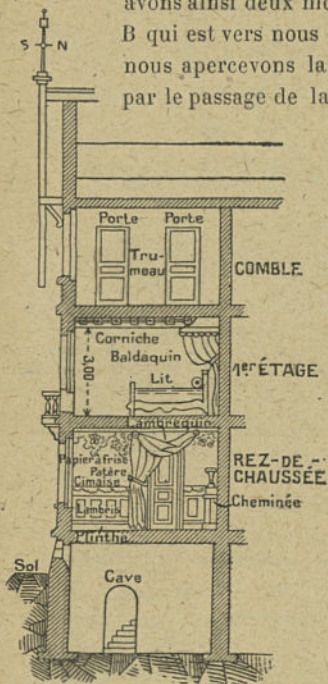


Fig. 345 (suite). — Coupe transversale d'une maison.

pas été atteint; on est convenu de représenter toute cette partie restante sur le dessin intitulé *coupe* et de couvrir de *hachures* parallèles les épaisseurs qui auraient été réellement tranchées par la scie. On remarquera, conformément à ce qui vient d'être dit, que sur la coupe (fig. 344), les points C' et D' sont réunis par un trait droit C'A'D' représentant la projection de la demi-circconférence conservée CAD.

C'est d'après les considérations générales précédentes qu'on dresse les plans, coupes et élévations d'un édifice et dont les figures ci-contre (fig. 343) donnent une première idée. Ce que l'on entend plus spécialement en architecture par l'expression de *plan*

d'un étage n'est pas autre chose en réalité qu'une *coupe* par un plan horizontal permettant ainsi de distinguer les pleins d'avec les vides et la place de chaque partie de l'édifice. Mais il faut remarquer que si, au point de vue technique de l'exécution, le plan remplit un rôle indispensable, l'élévation seule permet d'apprécier pleinement l'effet artistique de la construction. Les dimensions des diverses parties de la construction

sont indiquées par des chiffres appelés *cotes* placés chacun au milieu d'une ligne pointillée terminée par des flèches et limitée exactement aux extrémités de la longueur mesurée, ou à deux petites lignes appelées *attaches* partant de ces extrémités.

L'*échelle* est le rapport des dimensions figurées aux dimensions réelles dans l'espace ; par exemple, si une longueur réelle de 1 mètre est représentée par 1 centimètre, le dessin est semblable à l'objet, mais 100 fois plus petit, l'échelle est  $\frac{1}{100}$  ou 1 pour 100, etc.

Une grosse question est celle des *fondations*, qui exige la connaissance exacte du sol et du sous-sol et qui, selon la nature de celui-ci, ferme ou inconsistante, entraîne des frais plus ou moins grands, d'où la nécessité de sondages préalables du sol. Ceux-ci s'effectuent au moyen d'outils plus ou moins perfectionnés dont les figures ci-contre suffisent pour donner une idée (fig. 346). On se trouvera heureux si, à quelques mètres de profondeur, on atteint un lit de roche compacte, dure, qui servira de base inébranlable pour asseoir les fondations de l'édifice. Sinon, on pourra se contenter de fonder sur un terrain ordinaire, pourvu qu'il soit suffisamment résistant, incompressible, inécrasable, tel que marne compacte, tuf, sables ou graviers purs non affouillables ou entraînés par les eaux souterraines.

Il faudra éviter absolument de fonder sur des terrains mobiles tels que argile, terre glaise, sables fluents<sup>1</sup>, remblais de gravois

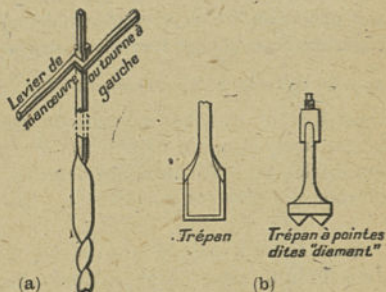


Fig. 346. — Outils de sondage.

(a) Tarière pour argile, marnes, etc. ; (b) Trépans divers pour broyage des roches par percussion.

1. D'un mot latin signifiant couler. Sables fluents ; sables de peu de tenue, sans résistance à l'écoulement.



et détritiques rapportés (terrains détritiques), anciennes carrières comblées, tourbe, terres vaseuses ou limoneuses et, d'une manière générale, sur tous terrains inconsistants et compressibles.

On jugera de cette compressibilité et de cette résistance par une expérience très simple. On mettra à nu une petite étendue du sol étudié, on l'arasera (c'est-à-dire qu'on l'aplanira bien horizontalement) et l'on dressera dessus, bien verticalement, un petit poteau carré ou rectangulaire sur lequel on placera des poids; un jalon, fiché en terre à proximité, servira de point de repère. On laissera en place vingt-quatre heures. Si, au bout de ce temps, le potelet ne s'est pas enfoncé d'une quantité appréciable, on augmentera progressivement les poids jusqu'à constatation d'une dépression évidente. Supposons, par exemple, que le potelet ait comme base 12 centimètres sur 15, soit une surface  $S = 12 \times 15 = 180 \text{ cm}^2$  et que le sol commence à céder sous une charge  $P = 450$  kilogrammes, on en déduira ce qu'on

appelle la « charge d'écrasement »,  $p = \frac{P}{S} = \frac{450}{180} = 2 \text{ kg. 5}$  par centimètre carré; c'est le maximum de pression que le sol puisse supporter, maximum qui ne doit pas être inférieur à 2 kilogrammes et qui atteint 5 à 6 kilogrammes dans les bons sols et même 10 kilogrammes et plus sur roche.

Si le terrain est de très bonne qualité, on pourra fonder directement, c'est-à-dire qu'après les fouilles achevées on établira la maçonnerie immédiatement sur le fond nivelé.

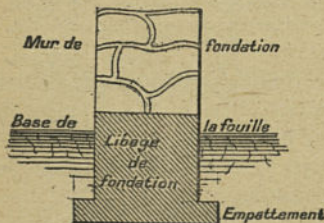


Fig. 347. — Empatement d'un libage de fondation.

Si le terrain est de moyenne qualité, on asseoir la maçonnerie sur une couche de béton coulé et pilonné dans des rigoles dites de fondation. Le poids de la construction achevée devra être tel que chaque centimètre carré de sol ou de béton ne supporte que le dixième au plus de la charge

d'écrasement déterminée comme il a été dit antérieurement.

On assurera le maximum de sécurité de la construction en élar-

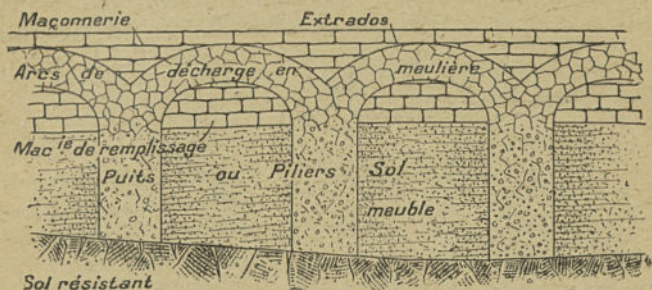


Fig. 348. — Piliers et arcs de fondations en terrain meuble.

gissant un peu la base des fondations de façon à répartir le poids de l'édifice sur une surface plus étendue : cet élargissement à la base des pierres de fondation s'appelle un *empatement* (fig. 347). Enfin, si le sous-sol est extrêmement

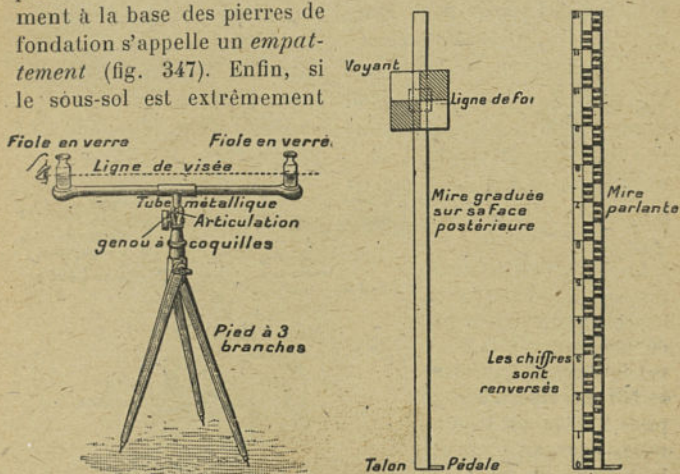


Fig. 349. — Niveau d'eau et mires d'verses.

mauvais, il faudra creuser un certain nombre de *puits* assez profonds pour atteindre une couche résistante, les combler de



béton pilonné de manière à former des sortes de piliers supportant des arcs en meulière dont l'extrados<sup>1</sup> constituera la base horizontale sur laquelle on élèvera l'édifice (fig. 348). On

voit, par ce simple aperçu, combien la question des fondations est importante et peut devenir une cause de surcroît de dépenses.

L'étude du sous-sol permet de calculer *a priori* le volume de terre à enlever, si l'on connaît en outre le relief du terrain relativement à un plan horizontal mené au niveau de la route. Ces données

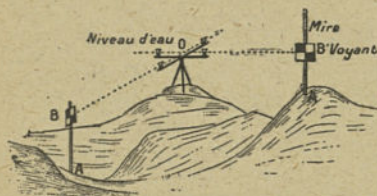


Fig. 350. — Principe des opérations de nivellement. Le plan BOB' étant horizontal, la différence de niveau des points A et A' est égal à la différence des lectures aux voyants, c'est-à-dire à  $BA - B'A'$ .

indispensables sont fournies par une opération appelée *nivellement*, qui consiste à relever les différences de niveau — ou cotes de hauteur — des divers points du terrain à bâtir. Ce travail s'effectue à l'aide d'instruments plus ou moins perfectionnés dont le plus simple est le *niveau d'eau* (fig. 349) avec son complément nécessaire, la *mire à voyant* (fig. 350).

La figure 350 fait comprendre, à première vue, le principe des opérations de nivellement; l'observateur s'installe au niveau et fait des signes appropriés à l'aide qui tient la mire, pour qu'il amène la « ligne de foi » du

voyant, exactement dans le prolongement du rayon visuel passant par la surface libre du liquide des fioles; lorsque ce résultat est atteint

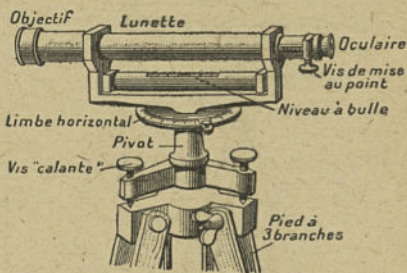


Fig. 351. — Niveau à lunette.

1. Extrados, partie extérieure, souvent convexe, d'une voûte.



l'aide lit la cote AB ou A'B' sur la graduation tracée au dos de la mire et la note sur son calepin.

Le *niveau à lunette*, celui d'Egault (fig. 351) par exemple, donne des résultats plus précis et permet l'emploi de la *mire parlante* (fig. 349), ainsi appelée parce que l'observateur installé au niveau lit lui-même et à distance, au moyen de la lunette, la cote cherchée : l'appareil optique renversant les images, il est nécessaire que les chiffres de la mire soient renversés de façon à être vus droits par l'observateur.

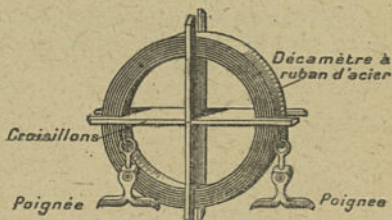


Fig. 352. — Ruban d'arpenteur.

L'opération du nivellement doit être complétée par le *lever de plan* du terrain, lequel a pour objet de faire connaître, en quelque sorte, la *carte* de la propriété par la détermination des longueurs de ses diverses lignes et des angles, ou *azimuts*, que celles-ci font entre elles. On opère avec la *chaîne* ou le *ruban d'arpenteur* (fig. 332) pour la mesure des distances, et avec le *graphomètre* pour l'évaluation des angles supposés réduits à l'horizon, c'est-à-dire projetés sur un plan horizontal ; la figure 353 représente un graphomètre dont les alidades portent des ouvertures appelées *pinnules* ; le milieu de celles-ci est indiqué par un fil vertical servant

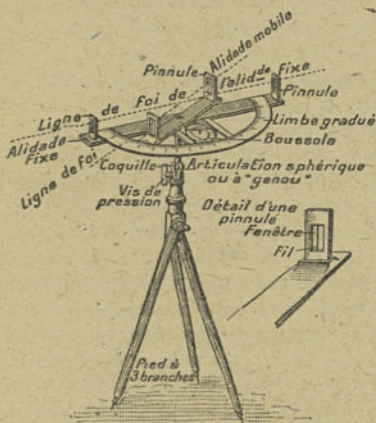


Fig. 353. — Graphomètre.

à définir une ligne de visée ; il existe aussi des graphomètres à lunette.

Muni de tous les éléments d'appréciation fournis par les études préalables précédentes, l'architecte pourra alors dresser le *devis descriptif* des travaux, par catégories de corps de métiers, et en déduire une valeur probable ou approchée du *devis estimatif* des dépenses à prévoir ; voici, à titre d'indication, un devis de ce genre (résumé) relatif à une petite villa :

Terrassements . . . . .	500 francs environ		
Maçonnerie . . . . .	10 000	—	—
Charpente . . . . .	2 500	—	—
Couverture . . . . .	1 500	—	—
Menuiserie . . . . .	2 000	—	—
Serrurerie . . . . .	1 500	—	—
Fumisterie . . . . .	1 000	—	—
Peinture, etc. . . . .	1 000	—	—
Total . . . . .	20 000 francs environ.		

Chacune de ces catégories de travail sera confiée à un entrepreneur spécial, moyennant un *prix convenu d'avance* ou à *déterminer* ; c'est-à-dire qu'il y a deux modes généraux d'entreprise : celle à *forfait* et celle aux *prix de série*.

On donne le nom de « Série des prix » à une publication officielle — par exemple, la série des prix de la ville de Paris — renfermant l'énumération des matériaux et travaux en usage dans le bâtiment, avec les prix correspondants que l'on est convenu d'appliquer dans la région ; ces prix constituent un maximum sur lequel on admet généralement un rabais d'environ vingt pour cent. On peut aussi traiter sur la base des prix en usage dans la localité, dans le cas où il n'y a pas de série publiée.

Le propriétaire aura le plus souvent avantage à adopter le premier mode d'entreprise, celui dit à *forfait*, par lequel l'entrepreneur s'engage à exécuter le travail demandé pour une somme convenue qui ne pourra être dépassée en aucun cas, quoi qu'il arrive. L'entrepreneur est généralement choisi par voie d'*adjudication*, c'est-à-dire qu'à un jour fixé plusieurs entrepreneurs, désireux de se charger du travail, soumettent chacun le prix qu'ils croient devoir demander en l'inscrivant sur un papier contenu dans une enveloppe cachetée ; on ouvre ensuite les « soumissions » et l'entreprise est adjugée à celui qui a offert le prix le plus bas.

L'entrepreneur adjudicataire doit se soumettre à un *cahier des charges*, dont il a pu prendre connaissance préalablement, et qui est une sorte de règlement général concernant les conditions d'exécution, de durée et de surveillance des travaux, les contestations possibles, les accidents, etc. Enfin, pour constater officiellement et légalement cet accord, on conclura par la signature d'un *marché*, véritable contrat engageant les parties en présence : entrepreneur d'une part, propriétaire représenté au besoin par son architecte, d'autre part. Il n'y aura plus ensuite qu'à satisfaire aux formalités légales (demande d'alignement, demande en autorisation de bâtir dans les grandes villes, etc.) et on pourra enfin passer à l'exécution du projet.

## 2<sup>o</sup> Exécution du projet.

Une fois l'étude du projet bien assise, on peut en entreprendre l'exécution et aller « à coup sûr » sans avoir à redouter de grosses surprises. Les principales opérations à effectuer sont les suivantes :

1<sup>o</sup> Terrassement et fouilles ;

2<sup>o</sup> Grosse maçonnerie : fondations, caves, étages, établissement des poutres horizontaux ;

3<sup>o</sup> Charpente, couverture, tuyauterie ;

4<sup>o</sup> Petite maçonnerie intérieure et extérieure : hourdis des planchers, carrelages, chambranles des cheminées, cloisons, crépissage des murs et plafonds ; ravalement extérieur ;

5<sup>o</sup> Menuiserie : escaliers, parquets, portes, fenêtres, lambris, persiennes ; serrurerie ; vitrerie ; décoration intérieure.

**Terrassement et fouilles.** — Cette opération consiste à enlever le volume de terre où viendra se loger la partie inférieure de la construction. On procède d'abord à l'établissement d'un repère général de nivellement, puis au tracé des fondations, aux fouilles et au creusement des rigoles de fondations.

A) **Repère de nivellement** — Connaissant le relief du terrain, on établit un repère général de nivellement sous forme d'un *trait coloré*, base et repère pour la fixation des divers niveaux. Ce trait peut être tracé sur les parois des maisons voi-



sines, par exemple, à 4 mètre au-dessus du sol de la route, mais toujours dans des conditions où il soit à l'abri de toute perturbation; on y rapporte toutes les cotes, profondeurs ou hauteurs, et, en raison de son importance capitale, on lui adjoint, par prudence, un contre-repère, en cas de dérangement accidentel.

B) **Tracé et alignement des fondations.** — Après avoir nivelé sommairement le sol, on plante, aux angles rentrants et

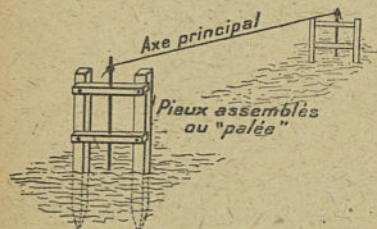


Fig. 354. — Fixation et matérialisation de l'axe principal de la construction.

et sortants du futur bâtiment, des piquets dont la position doit être fixée avec la plus grande précision, plan et roulette d'arpenteur en main; on tend des cordes entre les piquets, de manière à déterminer exactement sur le sol le contour de la maison.

Il est utile de fixer d'abord la position d'un *axe principal* de la construction, au moyen de deux *repères*, ou pointes verticales, supportées chacune par une petite charpente (fig. 354). Entre ces deux pointes opposées on tend une corde, ou un fil, qui formera l'axe principal cherché; des fils à plomb, descendant le long de cette corde, détermineront les points du sol appartenant à l'axe; les axes secondaires seront repérés par leurs distances à l'axe principal.

C) **Fouilles.** — On fait effectuer les fouilles et on vérifie la verticalité des talus. Si la fouille est un peu étendue, elle peut se faire, soit par plans inclinés successifs sur lesquels montent et descendent les tombereaux, soit par gradins, avec remontée des terres par jets de pelle verticaux de 4 m. 50. Actuellement, on adopte généralement, dans les grandes villes, le procédé d'enlèvement par *benne*, formant wagonnets mobiles sur rails, et ascension par une grue à vapeur (fig. 355). On descend la fouille jusqu'à la profondeur prévue au-dessous de la ligne de

repère général. Le fond doit être bien *arasé*, c'est-à-dire nivelé horizontalement.

D) Tracé et implantation des rigoles de fondations. — Ces rigoles sont des cavités ayant la forme de canaux à section rectangulaire, que l'on remplit de béton ou de maçonnerie, et

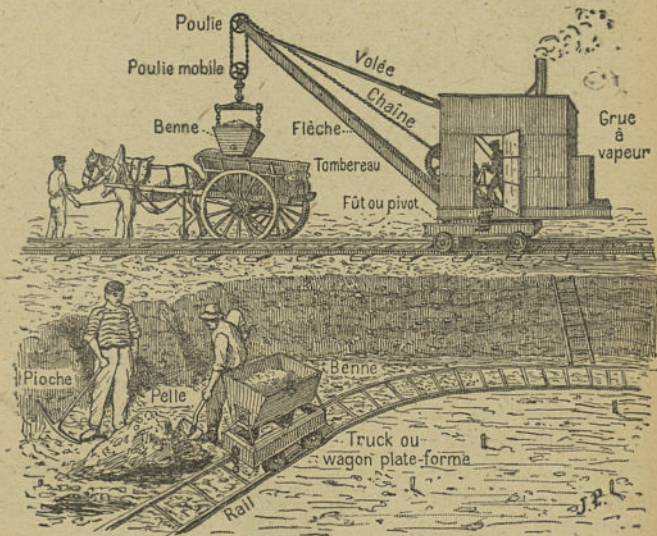
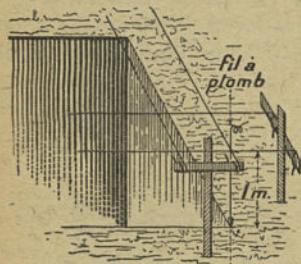


Fig. 355. — Chantier de terrassement ; fouilles pour l'établissement des fondations et des caves d'une maison.

qui doivent supporter les assises de la construction en s'opposant au déchaussement ou au glissement ultérieur possible des murs. On conçoit que leur tracé doit correspondre rigoureusement au plan, comme angles, distances et épaisseurs. A cet effet, on commence par établir, extérieurement aux parois de la fouille, à 50 centimètres environ de distance de l'aplomb de celle-ci, des points de repère précis en plantant, de part et d'autre de chaque angle, un piquet plus ou moins haut sur lequel on cloue perpendiculairement une volige bien dressée



formant une croix; cette volige servira à soutenir deux cordons bien parallèles passant dans des encoches et allant d'un piquet au piquet de l'angle opposé de la fouille; la distance mutuelle des cordons est l'épaisseur même que devra avoir le mur de fondation (fig. 336). L'ensemble des cordons et piquets reproduit matériellement le plan de l'édifice dans ses principales lignes. En disposant ensuite, le long des cordons, des fils à



plomb, ceux-ci figureront la position exacte des parements<sup>1</sup> des murs de fondations et feront connaître, par les points où ils rencontrent le fond horizontal de la fouille, l'emplacement exact des rigoles de fondations. On pourra alors procéder à l'implantation de celles-ci en enfonçant en terre, de distance en distance, le long du tracé, des fiches métalliques que le terrassier n'aura plus qu'à suivre en piochant. Ces cavités auront généralement de 25 à 40 centimètres de profondeur et une largeur un peu plus grande que les murs de fondations, pour prévoir « l'empattement » (Voir plus haut pour la désignation de ce mot). La figure 357 représente l'implantation des rigoles, comme il vient d'être indiqué.

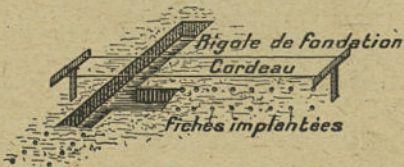


Fig. 357. — Implantation des rigoles.

**Grosse maçonnerie.** — Les fondations, ayant à supporter tout le poids de l'édifice, fatiguent beaucoup et sont sou-

1. Parement : surface visible ou apparente d'un ouvrage d'architecture.  
— Parement d'une pierre : portion de sa surface qui apparaît à l'extérieur, par opposition à celle qui est noyée dans l'épaisseur du mur.



mises à diverses causes de dégradation telles que l'humidité, etc.; elles doivent donc être exécutées avec beaucoup de soin et sont généralement établies en bonne maçonnerie, d'épaisseur suffisante; mais on peut aussi utiliser le béton armé.

On distingue les murs extérieurs, de grande épaisseur, et les gros murs intérieurs, ou *murs de refend*, ainsi que les murs d'escalier dits *murs d'échiffre*. Tous ces ouvrages s'élè-

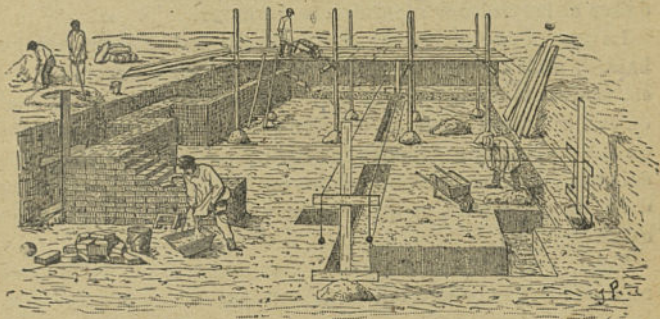


Fig. 358. — Chantier de construction; les murs commencent à s'élever.

vent simultanément (fig. 358). Les gros murs sont généralement constitués en *meulière* hourdée de ciment. A cet effet, on étend dans les rigoles une couche de mortier hydraulique<sup>1</sup> sur laquelle on pose des moellons de meulière choisis parmi les plus gros, puis on les entoure latéralement de mortier (ce qu'on appelle *hourder*), sauf sur la face formant *parement*. L'intervalle compris entre les moellons de parement est rempli

1. Le mortier sert à lier les matériaux afin de répartir uniformément les pressions sur toute l'étendue des joints, ce qui nécessite un durcissement comparable à celui des pierres à réunir. Le plus simple des mortiers est celui d'argile ou « terre à four » (cheminées, calorifères, etc.) Le mortier ordinaire est composé de sable et de chaux grassée, ou de sable et chaux hydraulique ou de ciment. Ces éléments sont mélangés avec une proportion déterminée d'eau, sur une aire plane, au moyen d'un râcloir ou « rabot » mû avec le bras, ou mécaniquement, dans un « malaxeur » actionné par une locomobile.

de mortier et on y force des moellons plus petits appelés *blocage*.

Pour assurer une plus grande stabilité à l'édifice, on dispose, aux angles principaux, de grosses pierres de taille dites *libages de fondations* (fig. 347) et, de distance en distance, des moellons dits *parpaings* occupant toute l'épaisseur du mur.

Les murs de refend peuvent être en meulière ou en bon calcaire dur, ou même en briques pour les séparations secondaires et les cloisons séparatrices des caves.

La pose d'une pierre calcaire naturelle doit se faire, non au hasard, mais suivant ce qu'on appelle son *lit de carrière* qui est celui suivant lequel elle s'est formée géologiquement, tel qu'elle se trouve dans la carrière; c'est dans ces conditions qu'elle possède le maximum de résistance à la poussée, laquelle doit toujours être perpendiculaire au lit. Si la pierre est posée dans un autre sens, ce qui est mauvais, elle est dite *posée en délit*.

Voici, à ce propos, les principales désignations techniques relatives à une pierre taillée faisant partie d'une « assise », c'est-à-dire d'un couche

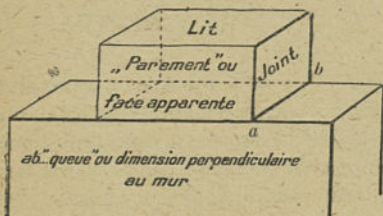


Fig. 359. — Désignations relatives à une pierre taillée, et posée.

horizontale (fig. 359) Les deux *lits* forment les faces couchées horizontalement. Les *joints* sont les faces perpendiculaires aux parements et, par suite, non visibles une fois le mur achevé.

On appelle aussi *joint* l'intervalle de quelques millimètres séparant deux pierres voisines et comblé avec du mortier.

On appelle *appareil* l'ensemble des formes des diverses faces d'une pierre taillée, les contours étant préalablement précisés par un dessin soigné, ou *épure*, destiné à servir de guide au *tailleur de pierre*. Les pierres prennent divers noms, selon leur appareil ou leur disposition (fig. 360). Un *carreau* ou *pan*



*neresse*<sup>1</sup> est une pierre dont la face en parement est plus longue que la queue ; elle prend le nom de *boutisse* dans le cas contraire. Un *parpaing*, comme on l'a déjà dit, occupe toute l'épaisseur du mur et, par suite, a deux parements. Il est nécessaire d'alterner les joints de deux assises contiguës. On donne

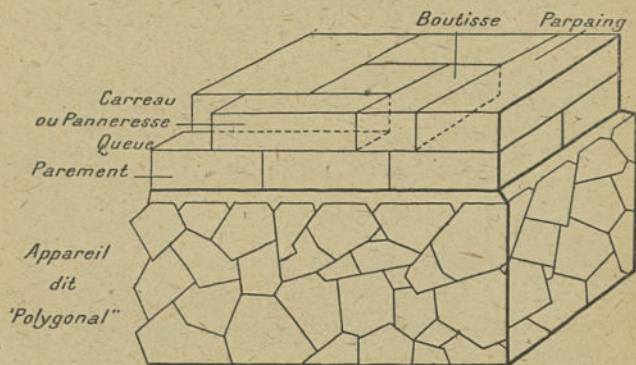


Fig. 360. — Pierres de divers appareils.

le nom « d'assises réglées » à celles dont toutes les hauteurs sont égales, ce qui a l'avantage d'égaliser partout les tassements.

On désigne sous le nom de *limousinerie* la maçonnerie de moellons tout-venants, c'est-à-dire employés presque à leur état brut de carrière, sauf qu'on les *ébousine*, opération qui consiste à les équarrir grossièrement, au moment de l'emploi, pour les débarrasser de la terre adhérente et des parties tendres. On les monte bien verticalement, en hourdant de mortier et de blocage, et ménageant des parpaings de distance en distance.

L'emploi de la brique est commode à cause de la régularité de sa forme ; elle peut être posée « de champ » ou « à plat », etc., suivant l'épaisseur du mur à obtenir ; les joints sont croisés, bien entendu, et hourdés en ciment ou en mortier de chaux.

1. Radical : panneau.



La rencontre de deux murs doit satisfaire, en vue de la solidité, à la condition qu'un joint ne doit jamais coïncider avec l'arête de l'angle rentrant ou sortant formé par cette rencontre. Voici les deux principaux dispositifs ayant pour but de faire chevaucher les joints (fig. 361) ; la pierre d'angle est qualifiée de *besace* lorsqu'elle n'a pas d'arête rentrante, de *harpe* dans

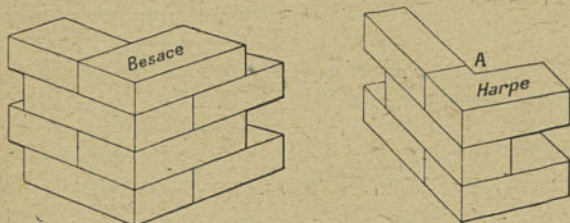


Fig. 361. — Modes d'appareillage à la rencontre de deux murs.

le cas contraire ; celle-ci fait alors saillie sur l'autre mur, tandis que la première ne dépasse pas les parements du sien.

Aux angles principaux de l'édifice il est bon, comme cela a déjà été indiqué à propos des libages de fondations, de constituer sur toute la hauteur du monument, une pile en matériaux de grandes dimensions ; on procède par besaces ou par harpes (fig. 361).

Une fois les murs de fondations amenés jusqu'au niveau du sol, ou un peu plus haut, il faut couvrir l'ouverture béante, de façon à constituer le plancher du rez-de-chaussée.

On construit les planchers avec des matériaux assez variés, bois ou fer pour les divers étages, béton armé, pierre ou brique pour les voûtes. Nous reviendrons plus loin sur la mise en place des poutres horizontaux en bois ou en fer. Pour l'instant, nous dirons seulement quelques mots sur les *voûtes*, parce qu'elles sont souvent employées pour recouvrir les caves, ce qui est pour celles-ci une garantie de fraîcheur et de solidité.

On peut envisager une voûte à plusieurs points de vue différents : (a) relativement à sa forme générale ; (b) relativement à ses éléments constitutifs ; (c) relativement à sa construction.

A) **Forme générale.** — La *ligne de naissance* est l'horizontale à partir de laquelle commence la voûte ou l'arc ; au-dessous de cette ligne se trouvent les *piédroits*, ou parties verticales des murs ou de la construction supportant la voûte. La distance des piédroits (ou pieds-droits) est la *portée* ; la hauteur comprise entre le sommet de la voûte et la ligne de naissance est la *flèche* ou *montée*. La figure 362 montre les principales voûtes usitées. Le plein-cintre forme un demi-cercle complet dont le

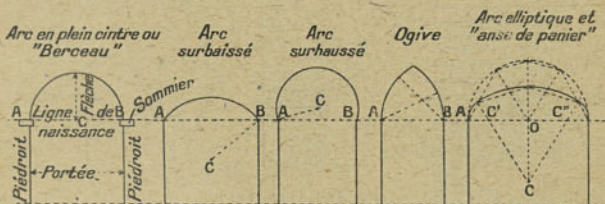


Fig. 362. — Diverses formes de voûtes.

centre C est sur la ligne de naissance AB ; la flèche est égale à la demi-portée. Dans l'arc surbaissé le centre C est en-dessous de la naissance ; il est au-dessus dans l'arc surhaussé ou outrepassé. L'ogive forme un angle rentrant au sommet. « L'anse de panier » se trace au moyen d'arcs raccordés des centres C, C', C'' et ressemble à une ellipse.

B) **Éléments constitutifs.** — Les pierres taillées qui constituent la voûte s'appellent *clavaux*, ou *voussoirs*. La pierre la plus élevée, située dans le plan médian, prend le nom de *clef de voûte*.

La *douelle* est la face inférieure concave des voussoirs, celle qu'on aperçoit lorsqu'on se trouve sous la voûte. L'ensemble des douelles forme une surface concave appelée *intrados*, tandis que l'*extrados* est formé par la partie supérieure convexe des voussoirs. L'*extrados* peut être taillé en redents successifs (arc en *tas de charge*) (fig. 363). Le nombre des voussoirs doit être *impair*, de façon à avoir au sommet de la voûte, non un joint, mais une *clef*. Les joints doivent être perpendiculaires à la surface de douelle, ou d'*intrados*, afin de pouvoir se *coincer*,



c'est-à-dire former comme de véritables *coins* dont la partie étroite est tournée vers le bas ; de cette façon, sous l'action de leur propre poids, ou d'une surcharge placée au-dessus, ils réagissent les uns contre les autres, se serrent fortement, sans pouvoir tomber ni se déplacer d'aucune manière ; l'édifice est alors stable à condition, bien entendu, que les piédroits résistent suffisam-

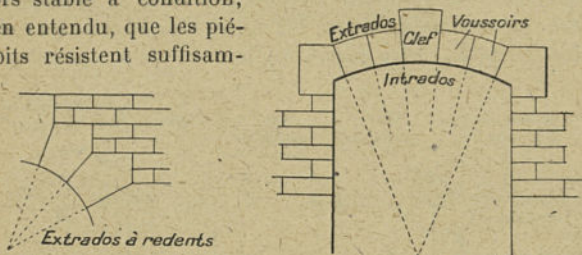


Fig. 363. — Arcs avec leurs voussoirs figurés.

ment aux deux efforts qu'ils reçoivent de l'ensemble des voussoirs, savoir :

1° Une poussée verticale qui tend à les écraser ;

2° Une poussée horizontale qui tend à les renverser vers l'extérieur, et cela d'autant plus que la voûte est plus surbaissée. C'est pour cette raison que, dans les cathédrales, qui ont des piédroits très élevés, on maintient ceux-ci extérieurement par de grands *arcs-boutants* (église Saint-Eustache, à Paris, etc.).

Si les joints sont taillés de façon à s'affronter et s'emboîter mathématiquement, la voûte est alors bien construite et se maintient d'elle-même, comme un tout rigide, dans le sens vertical, de sorte que le mortier n'est pas nécessaire théoriquement ; mais, pratiquement, il est utile pour compenser les irrégularités inévitables des joints et répartir uniformément les poussées. Une telle voûte ne peut cependant pas résister à une charge d'écrasement trop forte, celle qui serait précisément nécessaire pour rompre la cohésion ou la rigidité d'une voûte monolithe de même dimension.

La rencontre de deux voûtes plein-cintre constitue une *voûte*



d'arêtes, ainsi appelée parce que l'intersection des deux surfaces cylindriques couvre un espace carré ABCD au-dessus duquel s'élançent quatre arêtes en relief aboutissant au sommet S (fig. 364 à gauche). Si, au contraire, l'on imagine, que, pour couvrir l'espace ABCD, on ne conserve que la partie commune SABCD aux deux cylindres (ce qu'on appelle en géométrie le *solide commun*), on aura ainsi constitué une voûte à angles ogivaux rentrants dite en *arc de cloître* (fig. 364, à droite).

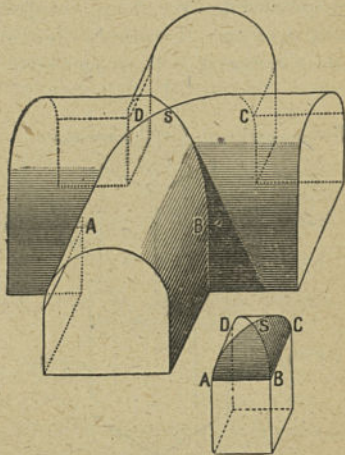


Fig. 364. — En haut : voûte d'arêtes ;  
en bas : voûte en arc de cloître.

C) **Construction.** — Pour construire une voûte, on dispose, sous l'emplacement qu'elle doit occuper, une sorte d'échafaudage en bois dit *cintre* destiné à soutenir provisoirement les voussoirs pendant leur mise en place (fig. 365). Une fois la voûte terminée et le mortier suffisamment durci, on *décintre*, c'est-à-dire qu'on enlève lentement le cintre par divers procédés ; manœuvre de coins, verrins, vis à pas inverses, échappement de sable, etc. On peut aussi, toujours en s'aidant de cintres, construire des voûtes très solides en meulière et ciment (égouts, etc.) ;

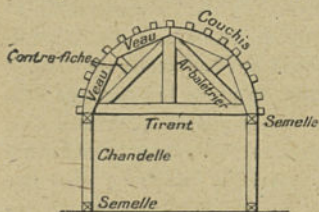


Fig. 365. — Cintre en bois pour construire une voûte.

en brique et ciment, enfin en *béton armé* au sujet duquel nous avons déjà dit quelques mots (voir chap. II, § 1). La figure 366

représente le procédé d'exécution d'un pilier en béton armé, une partie du *coffrage* étant enlevée pour laisser voir l'intérieur. Se reporter aussi aux figures 32, 33 et 34.

L'escalier de cave devant supporter des poids assez lourds et subir des chocs, lors de la descente des tonneaux, doit être simple et robuste : il est en pierre ou en béton armé. Chacun

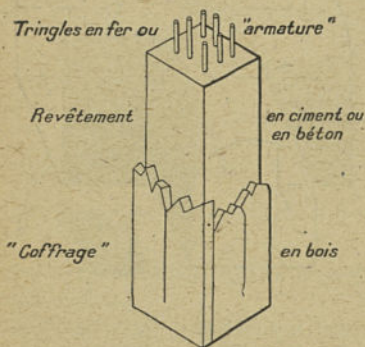


Fig. 366. — Exécution d'un pilier en béton armé ; une partie du coffrage est enlevée.

des blocs qui forment une marche est engagé, à ses extrémités, dans la maçonnerie d'un mur de soutien, ou mur d'échiffre ; le dessous est supporté par un voûtage, ou par un massif de maçonnerie.

Dès que les fondations et l'escalier de cave sont terminés et qu'on arrive au voisinage du niveau du sol, on commence le *soubassement*, qui est la partie extérieurement visible la plus inférieure de l'édi-

fice ; on emploie alors des matériaux *parementés*, c'est-à-dire des pierres dont les parements et les joints sont ornés et travaillés avec soin, au moyen de divers outils. Ce soubassement est généralement en pierre de taille, au moins aux angles principaux, socles d'encoignures, linteaux des soupiraux de cave.

Le soubassement achevé, on met en place le *poutrage* destiné à supporter le plancher du rez-de-chaussée. Avant d'en poser les solives, on arase parfaitement le dernier lit des murs et on fait courir sur celui-ci un *chainage*, en fer, c'est-à-dire une plate bande métallique assez épaisse sur laquelle reposent les solives, et composée de plusieurs lames solidement assemblées bout à bout. Le poutrage peut être en fer ou en bois.

A) **Poutrage en fer.** — Les poutrelles, ou solives, qui doivent supporter tout le plancher, sont en forme de double T



(fig. 367), et placées *de champ*; l'*entrevous*, ou intervalle qui sépare deux poutres consécutives, est garni de tiges de fer appelées *entretoises* dont les extrémités, recourbées en crochets, viennent s'appuyer sur les ailes des T; perpendiculairement aux entretoises et, par suite, parallèlement aux solives, on pose d'autres tiges de fer dites *fentons*, ou encore *côtes de vache*. Le réseau formé par les entretoises et les fentons est destiné à supporter un *hourdis*, ou remplissage de plâtre, qui obstruera les entrevous. Dans ce but, le maçon installe, à l'étage situé au-dessous, un échafaudage horizontal soutenant un ensemble de planches qui arrivent

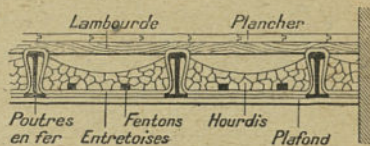


Fig. 367. — Poutrage en fer, avec hourdis de plâtre et plancher.

presque au niveau de la face inférieure des poutrelles; il coule alors, au-dessus, du plâtre gâché avec de l'eau et y noie des *gravois*; quand la matière a fait prise, il élève de petites éminences, dites *murettes* (non représentées sur la figure), sur lesquelles reposeront les *lambourdes* en bois qui, elles-mêmes, supporteront le *parquet* (fig. 367).

Si, au lieu de plancher, il doit y avoir un carrelage (vesibule, cuisine...), le hourdis sera constitué par des *voûtains*, ou petites voûtes en briques, faites sur *cintrés*, reposant par leurs extrémités sur les ailes inférieures des fers à double T; on recouvre les voûtains avec du béton et on coule une *chape* en mortier hydraulique dans laquelle seront enchâssés les carreaux.

Les divers étages sont séparés par des poutrages obtenus dans les mêmes conditions.

B) **Poutrage en bois.** — On met en place les solives et on cloue, à la partie inférieure, un *lattis* destiné à soutenir le plâtre du plafond; dans le même but, on larde les solives d'une quantité de grands clous dits *clous à bateau* (voir antérieurement, *clouterie*); puis l'on dispose, par dessous un échafaudage avec planches horizontales arrivant au niveau du plafond, comme cela a été expliqué à propos des poutrages en fer. On



garnit les entrevous de gravois et de plâtras et on coule du plâtre gâché un peu fluide. Après la prise de celui-ci, les solives sont donc réunies par des *augets* qui constituent le hourdis et qui assurent l'insonorité et l'isolement. Au-dessus des solives, on cloue les lambourdes destinées à supporter le parquet.

Il y a des précautions spéciales dont il faut tenir compte, soit pour réserver l'emplacement des *escaliers*, soit pour éviter la

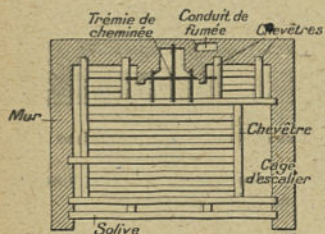


Fig. 368. — Charpente en bois soutenant le plancher et trémie de cheminée.

être sur un réseau en fer appelé *tremie* et de laisser entre le mur et les solives en bois un vide assez grand destiné à être comblé par cette trémie ; il en résulte une complication dans la disposition des poutrelles qui prennent alors des noms spéciaux, d'après leur mode d'enchevêtrement (fig. 368).

Les poutrages en bois ont divers inconvénients, notamment ce fait que, si le bois vient à se pourrir aux parties encastées, il en résulte une faiblesse dans le mur par l'absence de pierre à l'aboutissement laissé vide. On peut, il est vrai, obvier à ce défaut en faisant reposer les extrémités des solives, non dans un encastrement pratiqué dans le mur même, mais sur des sortes de consoles en pierre appelées *corbeaux* dépassant le parement intérieur du mur ; cette disposition est particulièrement très visible dans les vieux châteaux féodaux en ruines des bords du Rhin.

**Cheminées et conduits de fumée.** — Au moment de la construction des murs on ménage, dans ceux-ci, des niches rectangulaires, de dimensions convenables, à chaque endroit

où doit se trouver une cheminée. Dans l'épaisseur des murs se trouvent aussi les conduits de fumée qui, d'après les règlements de police, ne peuvent avoir moins de 18 centimètres sur 22 centimètres, ou, s'ils sont ronds, moins de 22 centimètres de diamètre sur 5 centimètres d'épaisseur. Ces conduits sont constitués par des sortes de coffres en terre cuite, dits *wagons* (fig. 369) ou boisseaux, superposés et emboîtés les uns au-dessus des autres, dans l'épaisseur même du mur, au fur et à mesure de la montée de celui-ci. Ils peuvent encore faire saillie au dehors, dans le cas où le mur a une épaisseur suffisante, déterminée par les règlements de police, pour la ville de Paris. Dans ce cas, les conduits doivent être attachés au mur tuteur par des ceintures en fer espacées de 2 mètres, au maximum.



Fig. 369. — Wagon dévoyé ou conduit de cheminée.

Au sommet du bâtiment, le conduit de fumée dépasse la toiture et forme un parallépipède appelé *souche de la cheminée*; enfin, le tuyau se termine par une poterie en terre cuite (*mitre, mitron, lanterne*), comme le montre la figure d'ensemble 345.

On se dispense parfois, par raison d'économie, de constituer les conduits de fumée au moyen de wagons en terre cuite; pour cela, on ménage simplement un vide dans la maçonnerie en s'aidant d'un *mandrin* qu'on remonte au fur et à mesure; on lisse ensuite l'intérieur avec un enduit de plâtre ou mieux de terre à four. Mais ce procédé est défectueux car, en vertu des *tassements* inévitables qui se produisent avec le temps, il apparaît des fissures dans les conduits, au détriment du tirage et de l'hygiène (pénétration des gaz de la combustion dans les appartements).

**Échafaudages.** — Pour pouvoir continuer la construction en hauteur, au-dessus du soubassement, on dresse des échafaudages constitués par des mâts, ou échasses verticales, et des traverses, reliés solidement par des cordages. On mène tout de niveau simultanément en se guidant verticalement au moyen



de fils à plomb et de cordeaux, tendus au-dessus des murs à élever, et qu'on remonte selon les besoins. Pour mettre en place une pierre taillée, on l'élève depuis le sol au moyen d'un fort câble contournant une poulie de faite et redescendant s'enrouler autour d'un *treuil* mû à la main ou mécaniquement. Une fois la pierre arrivée au niveau voulu, on la fait progresser sur des rouleaux disposés sur un plan légèrement incliné, puis on la met en place sur des cales en bois de façon à laisser, par-dessous la pierre, un faible vide dans lequel on coule du mortier qu'on refoule ensuite avec un outil plat ; on ne retire les cales qu'après la prise du mortier.

**Baies.** — Une baie est une ouverture destinée à recevoir une porte ou une fenêtre. Elle se compose : 1<sup>o</sup> d'une partie inférieure appelée *séuil*

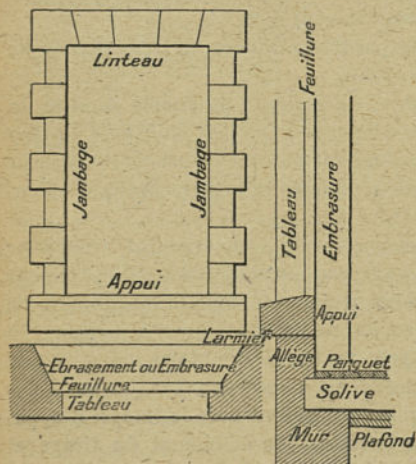


Fig. 370. — Baie de croisée avec la coupe verticale de la partie inférieure et une coupe horizontale.

de la porte, *appui* de la fenêtre ; dans ce dernier cas, l'appui est supporté par un petit mur appelé *allège* (fig. 370) ;

2<sup>o</sup> Deux *jambages* ou *piédroits*, s'élevant verticalement de chaque côté et dont le parement perpendiculaire à la baie prend le nom de *tableau*. C'est contre celui-ci que se replient les persiennes en fer à plusieurs feuillets. L'*ébrasement*, ou *embrasure* est le vide situé vers l'intérieur et allant en s'évasant pour faciliter la manœuvre de la fenêtre : la *feuillure* est un retrait intérieur, situé entre le tableau et l'embrasure, et destiné à recevoir le bâti dormant ou chambranle, de la porte ou de la fenêtre ;



3° A la partie supérieure, un *linteau* ou couronnement horizontal, franchissant la *portée* de la baie et supporté par le *sommier* ou assise supérieure des jambages. Ce linteau est *soulagé* soit par une barre de fer carrée dissimulée dans la feuillure, soit par un *arc de décharge* placé au-dessus.

**Diverses espèces de murs.** — Les murs peuvent être ou homogènes, c'est-à-dire constitués par une seule espèce de matériaux, abstraction faite des joints, ou mixtes et alors composés de pierres différentes. Dans ce cas, et pour répartir uniformément les tassements, on dispose horizontalement et verticalement des *chaines* de pierres taillées qui, horizontalement, prennent le nom de *bandeaux* (voir fig. générale 343) et qui, verticalement, sont disposées soit aux angles, soit en plein et portent alors le nom de *pilastres*, s'ils n'ont qu'une faible saillie, de *contreforts* si celle-ci est très prononcée.

**Charpente et couverture.** — **Tuyauterie.** — La grosse maçonnerie ayant atteint toute sa hauteur, il faut main-

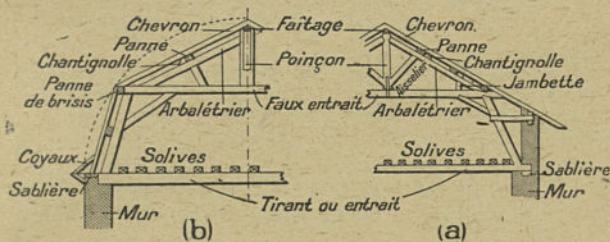


Fig. 371. — Divers modèles de fermes.  
(a) à comble relevé et faux-entrait; (b) comble à la Mansard.

tenant *couvrir* la construction. Ce toit, ou couverture, reposera sur un ensemble de pièces de bois taillées et assemblées solidement par les procédés de *charpenterie*. Cette construction de charpente prend le nom de *ferme* ou *comble*. La ferme simple n'est employée que pour les petites maisons dépourvues d'un grenier praticable; si l'on veut celui-ci plus commode, on adoptera la ferme à comble relevé (fig. 371, a); on pourra même rendre la partie supérieure de l'édifice tout à fait habitable au

moyen du comble à la *Mansard* (fig. 371, *b*). Les pièces qui forment la charpente sont réunies par le moyen de divers modes d'assemblages, très nombreux, dont nous nous contenterons d'indiquer seulement quelques-uns (fig. 372, 373 et 374).

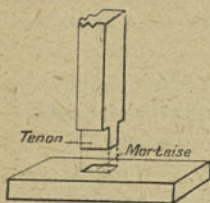


Fig. 372. — Assemblage à tenon et mortaise.

Les charpentiers construisent aussi et mettent en place les *pan de bois* (fig. 375), destinés à former les cloisons intérieures, et qui recevront ultérieurement, de la part du maçon, un garnissage de plâtre, les dites cloisons peuvent aussi être en brique.

Viendront ensuite les travaux de couverture; la ferme recevra

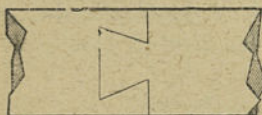


Fig. 373. — Enture à « queue d'hironde » pour assemblage de pièces en prolongement l'une de l'autre.



Fig. 374. — Enture à « trait de Jupiter », pour assemblage de pièces en prolongement l'une de l'autre.

un revêtement de tuiles en terre cuite, ou d'ardoises, ou encore de feuilles de zinc et, en même temps, on installera les tuyaux

de descente pour les eaux pluviales et ménagères.

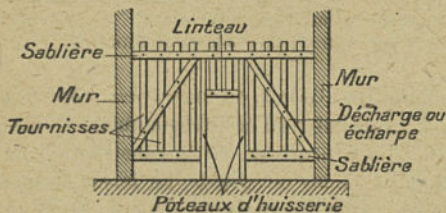


Fig. 375. — Pan de bois.

**Petite maçonnerie intérieure et extérieure.** — Il y a lieu, maintenant, d'exécuter quantité de petits tra-

voux : cloisons, hourdis des planchers, carrelages, chambranles



des cheminées, crépissage des murs et des plafonds, ravalement ou ragréement extérieur.

**Chambranles des cheminées.** — Comme nous l'avons indiqué antérieurement, la cheminée est assise sur le réseau de fer appelé *trémie*, qui garnit l'espace laissé entre la solive dite *chevêtre* et le mur dans lequel est pratiqué le conduit de fumée. La figure 376 montre la disposition générale du chambranle d'une cheminée, avec la désignation des parties essentielles.

Nous avons expliqué précédemment comment s'effectue le hourdis des planchers.

Le *crépissage* consiste à appliquer sur une surface maçonnée ou autre, un enduit bien uni de plâtre fin.

Le *ravalement*, ou ragréement, a pour but de donner à la maçonnerie extérieure un aspect agréable ou artistique. Dans ce but, les murs sont dégrossis par application d'un mortier de chaux hydraulique, sur lequel on fait ensuite un enduit de plâtre crépi, les moulures sont fouillées, les pierres de taille grattées et les joints travaillés et façonnés (*rejointoyage*).

**Menuiserie.** — Il y a à poser les escaliers, les parquets, les portes, les fenêtres, les lambris, les persiennes, etc. Nous avons déjà parlé (chap. III, § IV), à propos des outils et machines-outils, des principaux instruments de travail du menuisier et de l'ébéniste (voir fig. 105, 106, 110, a, b, c, d, 117, 118, 122 et 128) ; nous n'y reviendrons donc pas et allons donner de suite quelques indications sur les gros ouvrages de menuiserie qui doivent être exécutés.

**Escalier.** — L'escalier est contenu dans un espace vide intérieur, appelé la *cage*, entouré par un mur dit d'*échiffre*. Le centre de la cage peut être libre et laisser un *jour* limité par une pièce de soutien appelée *limon*, formant le parement

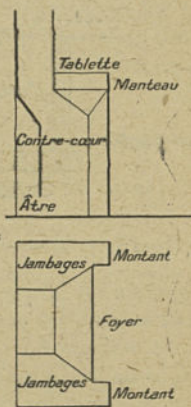


Fig. 376. — Cheminée, plan et élévation latérale.



intérieur de l'escalier ; sinon, le centre est plein et prend le nom de *noyau*.

Le limon a une forme *rampante*, c'est-à-dire inclinée, droite ou tournante ; il est constitué par une grosse pièce de bois qui supporte les extrémités des marches et des contre-marches, soit parce que celles-ci y pénètrent dans des *entailles* convenablement disposées, soit parcequ'elles reposent sur des redents formant *crémaillère*.

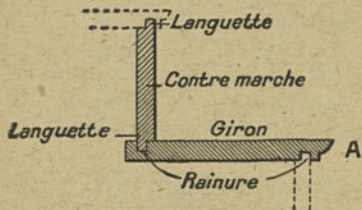


Fig. 377. — Marche d'escalier en bois

La face horizontale d'une marche est le *giron*, la face verticale est la *contre-marche* (fig 377) ; ces deux planches sont assemblées par rainure et languette. La longueur de l'arête A ou largeur de l'escalier, est appelée l'*emmachement*. La *ligne de foulée* est une courbe fictive passant vers le milieu de l'emmachement et que suit généralement une personne en gravissant l'escalier (fig. 378). Si celui-ci est non pas droit, mais tournant, il y a lieu de dévoyer en quelque sorte les marches, les unes par rapport aux autres, en augmentant le giron dans le voisinage de l'axe du tournant et le diminuant à l'extrémité opposée ; ceci dans le but de rendre le tournant moins dangereux en offrant plus de place pour poser le pied : c'est ce qu'on appelle le *balancement des marches* (fig. 378). Alors les arêtes, au lieu d'aller toutes se rencontrer fictivement au centre A du tournant, ne laissant ainsi qu'un espace insuffisant dans le voisinage du limon, s'écartent suivant une loi progressive.

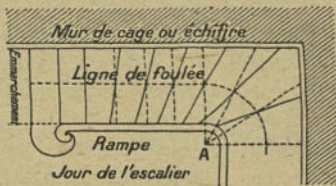


Fig. 378. — Balancement des marches d'un escalier.

Sur le limon sont en outre fixées des colonnettes destinées à

supporter la *rampe* ou *main-courante*, servant à aider les personnes peu valides et à éviter des accidents.

Les extrémités des marches opposées au limon reposent sur une pièce fixée au mur d'échiffre et appelée *faux-limon*.

Un *palier* est une partie horizontale formant repos entre deux *volées* de marches. L'usage a montré qu'on se trouvait bien d'adopter, entre la largeur  $g$  du giron et la hauteur  $h$  de la contre-marche, la relation suivante :

$$g + 2h = 0 \text{ m. } 64.$$

Le total des girons mesurés sur la ligne de foulée et relatifs à un étage, s'appelle le *développement* de l'escalier.

**Portes et fenêtres.** — Une porte, une fenêtre, comprend toujours un chambranle ou *dormant*, fixé au mur ou à la cloison, et une partie mobile sur gonds appelée *battant*. Celui-ci est composé d'un bâti ou *cadre*, entourant les *panneaux* de la porte (fig. 379) ou les vitres de la fenêtre. Nous avons déjà expliqué antérieurement (chap. III, § V, serrures, baies en général) ce qui se rapporte aux portes et aux baies, à la *main* de la serrure, aux *pâumelles*, etc. (fig. 143). Les portes intérieures sont généralement à *petit cadre* fig.

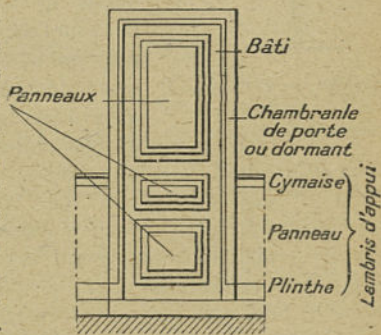


Fig. 879. — Porte à *petit cadre* et lambris.

380), c'est-à-dire que leur moulurage est de même épaisseur que le bois et est en une seule pièce ; les portes extérieures sont le plus souvent à *grand cadre* (fig. 381) La figure 379 indique encore quelques désignations relatives aux *lambris*, sortes de boiseries d'assemblage qui revêtent les murs de diverses pièces : vestibule, salle à manger, bibliothèque, salle de billard, etc. ; il y a les *lambris d'appui*, qui ne dépassent pas 1 m. 50 environ,



et les *lambris de hauteur*, qui montent jusqu'à la corniche du plafond.

Il reste ensuite à effectuer les travaux de serrurerie, de vitrerie et de décoration intérieure; celle-ci comprend divers

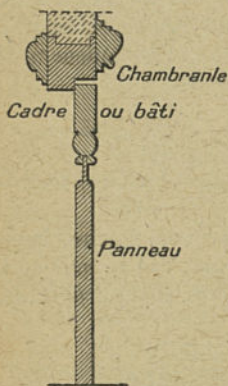


Fig. 380. — Porte à petit cadre; coupe de la partie supérieure.

revêtements de peinture et l'application sur les murs d'étoffes de tenture ou de papiers peints. Nous nous occuperons seulement de ce dernier sujet; mais auparavant, avant de quitter la menuiserie, disons quelques mots sur l'ébénisterie qui a, avec la précédente, d'évidentes et étroites analogies.

**Ébénisterie.** — Les procédés de travail et d'assemblage du bois, ainsi que l'outillage, sont les mêmes qu'en menuiserie; c'est seulement la matière première qui est souvent plus précieuse et ce fait que l'ébéniste ne fabrique que des *meubles*, donc des objets en bois *non fixés* à la construction. De plus, les panneaux qu'il travaille sont souvent *plaqués*, maintenus dans leur cadre simplement par pénétration dans une *feuillure* postérieure de celui-ci et recouvrement par une baguette. L'ébéniste orne ses meubles par le tournage, la sculpture et l'incrustation, la marqueterie, etc. Chaque catégorie de meubles: tables, chaises, armoires, etc., est généralement confectionnée par des spécialistes; les diverses pièces sont réunies par des assemblages de menuiserie et de la colle forte, à l'exclusion de clous ou de vis. Une opération importante, très souvent réalisée, est celle

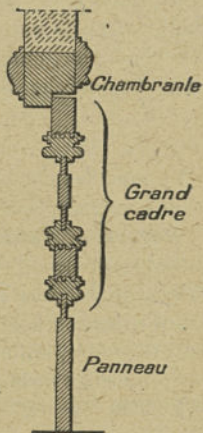


Fig. 381. — Porte à grand cadre; coupe de la partie supérieure.



du *placage* qui consiste à revêtir un *bois de pays*, un bois commun, d'une mince feuille de *bois des îles*, bois précieux exotique, tel qu'acajou, palissandre, *ébène* (d'où le nom d'*ébénistes*). Le procédé est très simple, il consiste à travailler d'abord la surface à recouvrir de façon à la rendre rugueuse, au moyen d'un rabot spécial *bretté*, c'est-à-dire à fer dentelé; on découpe ensuite une feuille très mince du bois précieux, on la mouille du côté extérieur, on la chauffe vers l'intérieur et on l'applique sur la surface de fond préalablement enduite de colle forte chaude; on la maintient au moyen d'une *cale* en bois capable de se mouler exactement sur la surface, ou bien encore par application d'un sac de sable serré par un système de presses. Après refroidissement, le placage est adhérent, on le polit à la ponce huilée, puis on le *vernit* ou on le *cire*.

## II. — PAPIERS PEINTS

Dans les grandes usines le papier brut entre en bobines qui ont parfois 800 mètres de longueur, capables de produire, par conséquent, 100 rouleaux marchands de 8 mètres chacun. Les couleurs destinées à l'impression sont délayées dans l'eau additionnée de colle, ou gélatine, comme substance adhésive; de tels papiers, une fois appliqués sur un mur, ne peuvent évidemment supporter aucun nettoyage à l'eau: ils ne sont pas *lavables*; aussi, depuis un certain nombre d'années, fabrique-t-on avec succès des papiers dont les pigments colorés sont incorporés dans une huile siccatrice formant comme un véritable vernis; celui-ci peut ainsi subir un certain nombre de lavages à l'eau faiblement savonneuse; sous ce rapport, quelques produits spéciaux tels que le genre Tekko, qui imite la soie, et d'autres, sont tout à fait remarquables.

Pour les articles communs, on applique la couleur directement sur le papier. Mais, si l'on veut obtenir des produits plus finis, d'aspect agréable ou artistique, il est nécessaire de recou-

virer préalablement la matière brute d'une couche unie et pénétrante de couleur formant un *fond* sur lequel viendront s'appliquer les autres motifs décoratifs; cette opération préliminaire s'appelle le *fonçage*. Presque partout, dans les usines un peu importantes, le travail mécanique *continu*, par rouleaux, a remplacé les procédés manuels à la *planche*, réalisant ainsi un progrès analogue à celui que nous avons constaté dans l'impression des tissus.

A) **Fonçage mécanique.** — La bande de papier brut se déroule de sa bobine de transport et vient contourner un grand

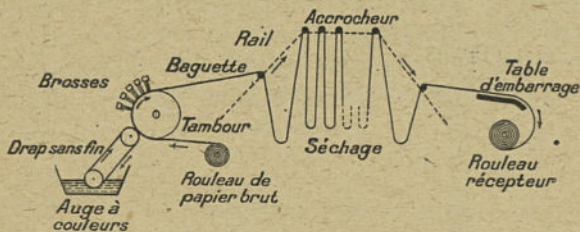


Fig. 382. — Schéma de la fabrication du papier peint.

tambour; elle passe ainsi entre la surface latérale du tambour et celle d'un drap sans fin qui, par son extrémité inférieure, plonge constamment dans une auge contenant la couleur de fond (fig. 382). Le papier se charge ainsi d'une couche bientôt régularisée par le jeu incessant d'un système de brosses mobiles, placées un peu plus haut, et qui travaillent continuellement la surface du papier encore appliqué sur son tambour. La bande est ensuite soulevée par une baguette, mobile sur un rail rampant, qui monte le pli d'emprise jusqu'à la partie supérieure de l'accrocheur, ou appareil de séchage, dont la longueur est considérable et où le papier se trouve soumis à l'action de la chaleur; après quoi la bande redescend sur un autre rail rampant, s'étale sur une table dite d'embarriage et vient enfin se lover, en spires concentriques, sur un rouleau récepteur.

Certains papiers sont *satinsés* par dépôt de talc et friction.

B) **Impression.** — Les anciens procédés à la main et ceux,

plus modernes, qui utilisent les machines, sont absolument comparables aux dispositifs qui ont été décrits à propos de l'impression sur tissus (voir les fig. 339 et 340). Nous signalerons encore le tracé au tire-ligne (fig. 383); une auge de section triangulaire contient la matière colorante; celle-ci s'échappe par divers orifices pratiqués dans l'arête horizontale inférieure et vient se déposer sur le papier qui progresse par-dessous à une faible distance.



Fig. 383. — Papier peint; impression au tire-ligne.

Le *velouté* s'obtient par dépôt préalable d'une peinture à base d'huile siccative puis par passage dans une atmosphère chargée de *tontisse*, ou débris filamenteux constamment agités.

Certains papiers sont *gaufrés* par un procédé analogue à celui qui est usité pour les étoffes; d'autres imitent le cuir, le *lincrusta* consiste, comme son nom l'indique, en une composition à base d'huile de *lin* siccative et de matières opaques pulvérulentes ou filamenteuses, formant une pâte malléable à chaud, et sur laquelle on peut imprimer des ornements. Le *linoléum* est, de même, à base d'huile de lin et de sciure de liège très fine.

### III. — VERRERIE ET PRODUITS CÉRAMIQUES

#### 1<sup>o</sup> Verrerie.

**Composition du verre.** — Toute substance dure et transparente, non cristallisée, est dénommée *verre*, au point de vue des applications. Une matière comme la silice, ou oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), peut se présenter, soit sous l'aspect cristallin (*quartz*), soit à l'état *amorphe* et *vitreux*, sans forme géométrique; il suffit, pour cela, de chauffer très fortement le quartz



au chalumeau oxydrique, puis de l'abandonner au refroidissement. L'acide borique, l'acide métaphosphorique, etc., sont dans le même cas. Cette propriété est transmise aux composés métalliques de ces divers corps ; ainsi, si l'on chauffe fortement de la silice — ou acide silicique — avec de la soude ou de la chaux, il va se produire une combinaison de l'acide et de la base donnant lieu à la formation d'un sel appelé *silicate* qui aura, par refroidissement, toutes les propriétés d'une substance vitreuse ; dans le cas de la soude, le verre obtenu est du silicate de sodium, corps soluble dans l'eau, tandis qu'avec la chaux, on obtient du silicate de calcium, *insoluble* et ayant, au contraire du précédent, une forte tendance à la cristallisation confuse et, par conséquent, à la production d'une matière plutôt *translucide* que transparente. On obtient les meilleurs résultats en mélangeant les deux verres dans une proportion judicieuse, ce qui explique qu'en réalité, les verres habituels, le verre à vitre par exemple, est un mélange — ou une combinaison — des deux silicates de calcium et de sodium, ou, comme on dit en chimie, un silicate double, ou complexe, de calcium et de sodium. De même le beau produit, désigné dans le commerce sous le nom de *verre de Bohême*, est un silicate complexe de calcium et de potassium ; le *cristal*, qu'il ne faut pas confondre avec le *cristal de roche*, ou quartz, est un silicate complexe de potassium et de plomb, etc.

**Matériaux de préparation du verre.** — Ce qui précède montre immédiatement quelles sont les matières premières qu'il sera nécessaire de combiner pour obtenir du verre sous l'action de la chaleur. Prenons, par exemple, le verre à vitre, qui est un silicate de calcium et de sodium ; les matériaux utilisables seront donc : 1<sup>o</sup> le sable siliceux bien blanc, formé de petits grains de silice ( $\text{SiO}_2$ ) presque pure ; 2<sup>o</sup> le carbonate de soude ou, à son défaut, le sulfate de soude des fours à gaz chlorhydrique (voir *industries chimiques*), pour fournir la soude ; 3<sup>o</sup> enfin la chaux vive, ou encore le carbonate de calcium (calcaire), pour apporter la chaux. Si l'on emploie des produits purs, dans la proportion convenable, on obtiendra une belle matière, bien incolore, qui pourra servir pour fabriquer

des *glaces* ; sinon, le produit sera un peu jaunâtre, à cause des sels de fer ; on le blanchira alors en lui communiquant la teinte complémentaire violette, au moyen d'une légère addition de bioxyde de manganèse, qualifié, pour cette raison, de *savondes verriers*. L'emploi de matériaux plus grossiers, sable ferrugineux, soude brute, calcaire argileux, aboutit à la formation d'un verre fortement coloré qui est employé pour la fabrication des *bouteilles*.

Si l'on veut avoir du *verre de Bohême*, on prendra évidemment du beau sable blanc (15 parties), du carbonate de potassium (6 parties) et de la chaux vive (2 parties) ; le verre ainsi obtenu est peu fusible et dénué de toute teinte sensible ; le *crown-glass* est une variété de verre de Bohême employé en optique.

Enfin le *cristal* artificiel, ou simplement cristal, étant un verre à base de potassium et de plomb, sera fabriqué par l'emploi du sable blanc, qui fournit la silice, du carbonate de potassium et enfin du *minium*, qui apporte l'oxyde de plomb nécessaire. Le cristal est un verre tendre, fusible, facile à *tailler*, *réfringent* (jeux de lumière) et *sonore* ; en augmentant la proportion de minium, on aboutit à une variété encore plus réfringente, employée en optique, et connue sous le nom de *flint-glass* ; enfin, si l'on force encore en plomb, on obtient le *strass* qui, taillé en *brillant* et argenté sous le culot, imite les vrais diamants au carbone.

Le cristal plombeux entre encore dans la composition des *émaux*, et de la glaçure déposée à la surface des faïences et des poteries en terre dites vernissées. On le mélange alors avec des substances opaques, blanches (bioxyde d'étain, phosphate de chaux, etc.) ou colorées (oxyde de cobalt, pour le bleu, etc.).

**Fours de verrerie.** — A) Les matières vitreuses préparées en quantité modérée comme le cristal, le verre de Bohême, les verres d'optique, etc., sont fondues dans de grands creusets en terre réfractaire, de plus de 1 mètre de hauteur, et appelés *pots* de verrier. Ceux-ci sont rangés en batterie, autour d'un four chauffé généralement par les gaz d'un gazogène à récupérateurs de chaleur (voir antérieurement, pour le sens de



ces expressions, *hauts fourneaux*, etc.). On se contente souvent du four *Boëtius* (fig. 384), dont le foyer à grilles inclinées est à la partie inférieure, et où se produit une combustion

incomplète comme dans un gazogène; l'oxyde de carbone (CO) ainsi formé monte centralement et se trouve mélangé avec une quantité convenable d'air secondaire chauffé par circulation préalable dans des carnaux ménagés dans la maçonnerie du four. Le verre arrive ainsi à la fluidité parfaite et devient ensuite un peu pâteux, condition nécessaire à son travail, lors-

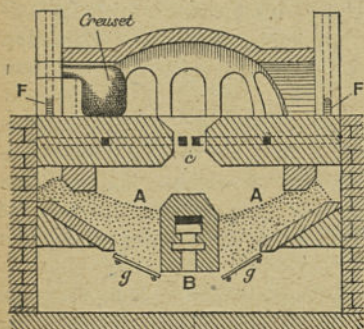


Fig. 384. — Four Boëtius pour la fusion du verre.

qu'on découvre l'orifice, ou *ouvreau*, de la cornue.

B) Lorsqu'il s'agit de préparer, d'une manière *continue*, des masses énormes de verre, comme celles qui sont nécessaires à la fabrication des vitres ou des bouteilles, les cornues précédentes se montreraient insuffisantes; on opère alors la fusion dans d'immenses cuves réfractaires, appelées *fours à bassins*, pouvant contenir jusqu'à un demi-million de kilogrammes de matière et même davantage. Ces fours sont chauffés par un gazogène à récupération (fig. 385); le chargement se fait par un côté; les matières progressent dans l'appareil, qui est très long; on *cueille* à l'autre extrémité sans discontinuer.

**Propriétés du verre.** — Si le verre est refroidi lentement, il ne perd pas brusquement sa fluidité, il passe par un état pâteux intermédiaire éminemment favorable au travail; ceci permet de l'amener sous des formes très variées par soufflage, moulage, coulage, filage, etc.

Refroidi très brusquement, par immersion dans l'eau froide par exemple, il se brise, ou bien garde une forme dure et *con-*



*trainte*; dans ce cas le moindre bris, provoqué en un seul point, amène une rupture explosive générale (phénomène des *larmes bataviques*). On peut cependant *tremper* le verre dans l'*huile bouillante* et le rendre ainsi très-résistant, à condition

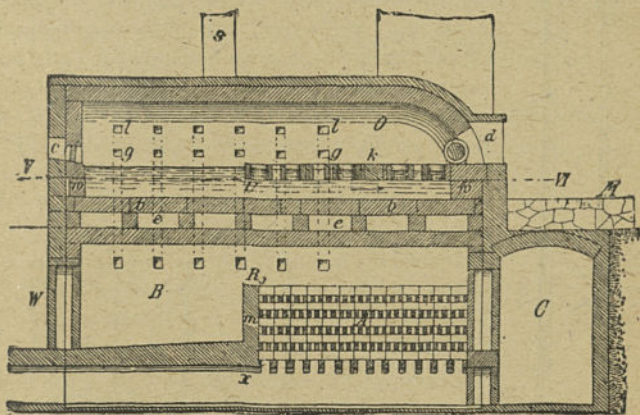


Fig. 385. — Fusion de grandes masses de verre dans un *four à bassin*, système Siemens.

encore de ne pas le rompre en un point, auquel cas la fragmentation générale se produit, comme dans les *larmes bataviques*.

En résumé, un refroidissement rapide du verre est funeste à la conservation de cette matière et ceci fait comprendre la nécessité d'un *recuit* prolongé, suivi d'un refroidissement très lent, des objets fabriqués.

L'eau bouillante, les acides et les alcalis attaquent le verre à la longue; l'acide *fluorhydrique* le ronge immédiatement, ce qui est utilisé pour la gravure, résultat qu'on peut encore atteindre sans acide, par l'action abrasive prolongée d'un jet de sable. Rappelons enfin que beaucoup de substances sont capables de *raayer* ou de couper le verre, notamment le diamant, le carborundum, le quartz, etc.

**Travail du verre.** — Tous les procédés de travail sont basés, comme on l'a dit, sur l'existence de l'état pâteux, à une

température de chauffe suffisante. Le verre est *cueilli* à l'extrémité d'une *canne de verrier* (fig. 386), qui est plutôt un long tube de fer dans lequel l'ouvrier peut souffler, soit avec la



Fig. 386. — Canne de verrier.

bouche, ce qui est pénible, soit mécaniquement; il fait ainsi enfler la masse de verre adhérente à l'autre extrémité, absolument comme on gonfle une bulle de savon; l'ouvrier combine judicieusement le soufflage avec le redressement vertical, le balancement, etc., de façon à modeler son verre. La figure 387 représente la série des phases successives de la fabrication d'une *vitre*; comme on le voit, on cherche d'abord à faire un manchon cylindrique; on coupe ensuite celui-ci suivant une génératrice, avec un diamant par exemple, puis on porte ce manchon au four à étendre, qui ramollit le verre, permet de l'étaler à plat et de le transformer ainsi en

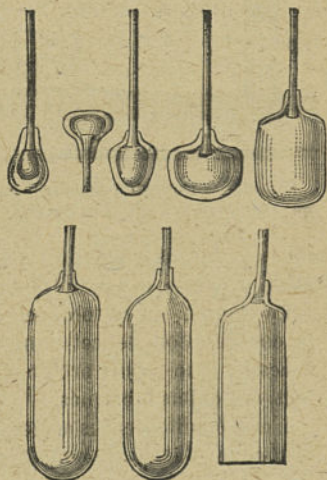


Fig. 387. — Phases successives de la fabrication d'une vitre.

une vitre (fig. 388). Ajoutons que d'ingénieurs et récents procédés permettent d'arriver au même résultat d'une manière toute différente, non plus manuellement mais mécaniquement; cette méthode consiste à tirer de bas en haut, de la masse de verre fondu, une lame pâteuse qui prend consistance à une certaine hauteur au-dessus du bain; la difficulté

est de s'opposer à l'étirage qui, comme dans le cas du *filage*, produirait un amincissement progressif de la lame, ainsi qu'au rétrécissement latéral. Cette difficulté a été vaincue par un dispositif complexe que nous ne pouvons exposer ici, quel que soit son intérêt.

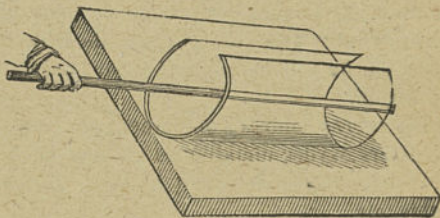


Fig. 388. — Étendage d'un manchon de verre.

Les figures 389 et 390 montrent respectivement les diverses phases de la fabrication d'un gobelet de verre et d'une bouteille. Dans les deux cas, on combine le soufflage avec le moulage, en enfermant la bulle de verre à l'intérieur d'une forme convenable contre laquelle elle se moule ; pour obtenir finalement le gobelet, on coupe au diamant tout le tour supérieur de façon à séparer les deux parties A et B.

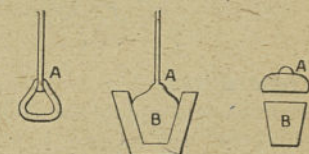


Fig. 389. — Phases successives de la fabrication d'un gobelet de verre.

Les *glaces* épaisses sont obtenues par coulage très fluide sur une table en fonte préalablement chauffée et garnie, sur ses bords, de tringles formant rebords à la hauteur voulue ; on égalise la matière par le passage d'un rouleau chaud et on laisse

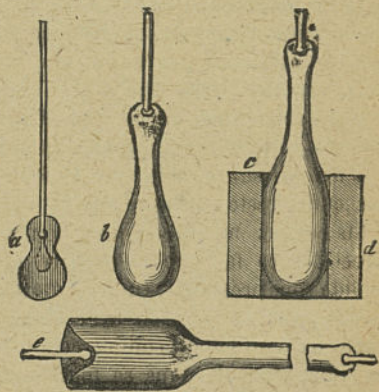


Fig. 390. — Phases successives de la fabrication d'une bouteille.



refroidir très lentement ; dans cet état, la glace n'a qu'une surface brute, sans transparence ; on lui donne alors les qualités voulues par l'usure réciproque de deux glaces frottant l'une contre l'autre avec interposition de sable mouillé, puis on termine par un polissage soigné et par l'argenture d'une des faces, au besoin.

Les *verres colorés* s'obtiennent par l'addition, au bain fondu, de divers oxydes métalliques : le bioxyde de manganèse donne le violet, l'oxyde de cobalt le bleu, l'oxyde cuivreux le rouge rubis, etc.

## 2° Produits céramiques.

**Généralités.** — Les produits céramiques sont fabriqués avec une matière plastique où domine toujours l'*argile* plus ou moins pure ; ceci est dû à la propriété que possède cette substance de former avec l'eau une pâte *liante*, obéissant aux modifications de forme qu'on lui impose, tout en gardant cependant un maintien suffisant. Cette pâte, étant abandonnée à la dessiccation, prend une consistance assez ferme, qui s'augmente très notablement par la cuisson, mais qui est accompagnée d'un *retrait*, c'est-à-dire d'une diminution de volume assez considérable. Aussi essaye-t-on d'atténuer, dans une certaine mesure, cette rétraction gênante par l'adjonction d'une matière dite *dégraissante*, telle que le sable siliceux. Cette pâte, une fois cuite, reste poreuse ; elle est sillonnée par une infinité de petits canaux microscopiques, comme le prouve l'observation directe et ce fait que la matière peut être traversée par un liquide sous pression<sup>1</sup>. On rend alors cette pâte étanche, imperméable, soit en la recouvrant d'une couche de matière vitrifiable ou d'un émail, comme cela a lieu pour les *faïences*, soit en l'imprégnant, dans sa masse intérieure, de cette même substance vitreuse dont une partie formera *couverte*, ou *gla-*

1. Propriété précisément utilisée pour la fabrication des bougies filtrantes, genre Chamberland et autres.

çure superficielle; c'est ce dernier cas qui est réalisé avec les porcelaines. Quoi qu'il en soit, la présence d'une couverte, d'un émail, sur une matière de fond quelconque, exige une condition essentielle à la conservation de l'objet : c'est qu'il y ait égalité de dilatation entre le dessus et le dedans, sous l'action de toute élévation de température; on exprime ce fait, en physique, en disant que les deux matières doivent posséder le même coefficient de dilatation; si cette condition n'est pas remplie, l'une des substances tirera sur l'autre et il en résultera des fendillements; c'est même un procédé pour obtenir le genre *craquelé*.

Ces préliminaires étant établis, nous classerons les poteries, ou objets céramiques, de la manière suivante :

POTERIES.	} Imperméables compactes.	{	Pâte translucide } <i>Porcelaine</i> { dure, cuite à très haute	}	demi-vitrifiée. } température.
			Pâte non } <i>Grès.</i> { tendre, cuite à haute		translucide. } température.
}	Perméables poreuses.	{	<i>Faïences</i> { fines, à pâte blanche, à glaçure transparente.	}	ordinaires, à pâte colorée, à glaçure opaque.
			<i>communes.</i>		
			Poteries communes, dites en terre cuite, à glaçure		} sans couverte.
			généralement plombifère.		
Briques, carreaux, tuiles, pots à fleurs	}				
Briques et creusets réfractaires					

**Porcelaine.** — La pâte de la porcelaine est composée d'argile pure, blanche, appelée *kaolin*<sup>1</sup>, de *sable quartzeux* très pur, comme substance dégraissante atténuant le retrait, de *craie* lavée et de *feldspath*. Toutes ces matières sont broyées, pulvérisées, intimement mélangées avec de l'eau, d'où une bouillie laiteuse appelée *barbotine*, que l'on fait passer à travers des *filtres-presses*; ceux-ci laissent ainsi des galettes de pâte qu'on abandonne longtemps à elles-mêmes pour accroître la

1. Gisements en France, à Saint-Yrieix, près de Limoges, en Saxe, en Chine, et:.



plasticité, ou bien qu'on emploie de suite, dans le cas des poteries ordinaires.

La pâte de la porcelaine *dure* est riche en silice, sa glaçure ne peut être vitrifiée qu'à une température fort élevée voisine de 1400°, aussi acquiert-elle une dureté considérable qui lui



Fig. 391. — Fabrication de la porcelaine ; ébauchage au tour de potier.

permet même de rayer l'acier. La porcelaine *tendre*, fabriquée surtout en Angleterre, est cuite à une température encore élevée, mais inférieure à la précédente, ce qui facilite beaucoup la décoration colorée.

**Travail de la pâte.** — On peut distinguer trois procédés principaux de travail :

A) **Par tournage.** — L'ouvrier potier est assis devant un tour vertical qu'il met en mouvement au moyen des jambes agissant sur un volant horizontal inférieur (fig. 391) ; il place,



sur la plate-forme supérieure, une certaine masse de pâte qu'il façonne d'abord à la main : c'est l'*ébauchage*; celui-ci ne doit pas durer trop longtemps, sinon, la pâte s'échauffe, s'amollit et retombe flasque. On laisse ensuite sécher et l'on termine par le *tournassage*, c'est-à-dire par une mise au point sur le tour en travaillant la surface au moyen d'un instrument tranchant.

B) **Moulage.** — Dans un premier genre de moulage usité pour reproduire une statuette, par exemple, on introduit la pâte dans un moule composé de plusieurs morceaux maintenus par une forme extérieure.

Dans un deuxième genre, appliqué à la fabrication des assiettes, on commence par confectionner, au moyen d'un rouleau en bois, une galette de pâte appelée *croûte*, puis on applique celle-ci, avec une éponge

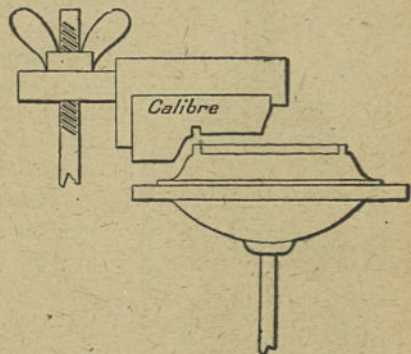


Fig. 392. — Calibrage de l'extérieur d'une assiette.

mouillée, sur un moule en plâtre dont le relief est la contrepartie du creux de l'assiette : l'intérieur se trouve ainsi façonné par un moulage. Quant à l'extérieur, on l'obtient régulier en plaçant, sur la plate-forme du tour, le moule revêtu de sa croûte, tandis qu'un gabarit en métal, calibré à la forme extérieure, enlève tout ce qui dépasse l'épaisseur de l'assiette (fig. 392).



Fig. 393. — Fabrication d'une tasse en barbotine.

C) **Coulage.** — Ce procédé est employé pour l'obtention d'objets très minces ; soit, par exemple,

à fabriquer une tasse ; on a d'abord confectionné un moule

épais en plâtre fin, d'environ un dixième plus grand qu'il ne faut, afin de tenir compte du retrait après cuisson. Dans ce moule A (fig. 393), on verse de la *barbotine*, c'est-à-dire une pâte à porcelaine très fluide; on attend quelques instants, le plâtre sec absorbe l'eau sur une faible épaisseur, tout le long

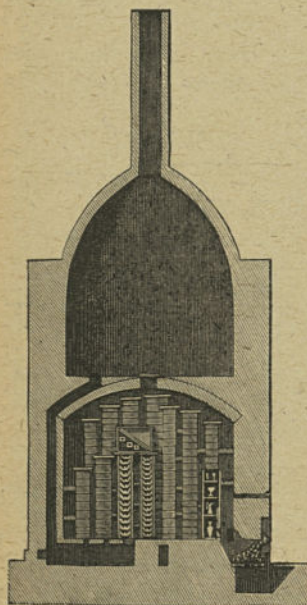


Fig. 394. — Four à porcelaine.

de sa surface, d'où un dépôt mince de pâte qui reste adhérent lorsqu'on enlève l'excès de *barbotine*; au bout d'une demi-heure environ, ce dépôt est assez consistant pour qu'on puisse le démouler (fig. 393, c); on lui soude une anse et on laisse sécher; après cuisson, l'objet définitif E sera notablement plus petit qu'à l'origine.

**Cuisson.** — Les objets en porcelaine sont cuits deux fois, d'abord vers 800° (dégourdi), puis vers 1400° (grand feu). Entre les deux cuissons a lieu le dépôt de la couverte, ou glaçure. Le four à porcelaine comprend deux étages et est chauffé par des foyers latéraux, ou *alandiers* (fig. 394); les gaz chauds de la combustion passent d'abord dans le compartiment inférieur, ou *grand feu*, et gagnent ensuite le *dégourdi*, ou étage supérieur. Pour éviter que les objets puissent être salis par les fumées, on les enferme dans des capacités en terre réfractaire appelées *cazettes*, qui ont en outre pour rôle de soutenir latéralement les pièces un peu hautes, dans le cas où elles tendraient à s'affaisser sous l'action de la chaleur.

La porcelaine simplement dégourdie reste poreuse et happe fortement à la langue. Elle sert à faire des plaques desséchantes



pour laboratoires, des vases de piles Leclanché, des bougies de filtration pour l'eau, etc.

Après le dégourdi, les objets refroidis sont plongés pendant quelques instants dans la *pegmatite*, mélange sirupeux d'eau, de quartz et de feldspath très finement pulvérisés ; par suite de sa porosité et de son affinité pour l'eau, la porcelaine se recouvre d'une mince couche du mélange vitrifiable : on la retire et on la laisse sécher, puis on racle le bord circulaire inférieur formant le support de tout objet céramique : tasse, soucoupe, assiette, etc., afin que, par la cuisson ultérieure au grand feu, la demi-fusion de la couverte ne vienne pas faire adhérer le vase après la cazette dans laquelle il est introduit. C'est pendant cette seconde cuisson que le feldspath de la *pegmatite* fond, pénètre la masse de la porcelaine et lui communique cette translucidité si facile à constater par interposition d'une assiette entre l'œil et une source de lumière.

Certains objets, dits en *biscuit*, passent du dégourdi au grand feu sans immersion préalable dans la *pegmatite*, donc sans glaçure.

**Décoration.** — La décoration de la porcelaine s'obtient par application d'une matière colorée sur la couverte ; les seuls colorants capables de résister à l'action de la chaleur ne peuvent être que des substances minérales ; ce sont généralement des oxydes métalliques. Mais, parmi eux, un petit nombre seulement peuvent supporter la haute température de seconde cuisson aussi les appelle-t-on couleurs de *grand feu*, citons : l'oxyde de cobalt, qui donne du bleu, l'oxyde de chrome qui produit du vert, le brun de fer, etc. Ces oxydes sont broyés finement avec de la *pegmatite*, servant de fondant fixateur, et mélangés avec de l'essence de térébenthine pour pouvoir être appliqués au pinceau. Une fois dans le four, l'essence se volatilise, le fondant se combine à l'oxyde métallique, développe et fait adhérer la couleur.

Pour la dorure, qui se faisait autrefois à l'aide du mercure, on procède actuellement comme suit : on compose un mélange d'essence de térébenthine, de borax et d'or très divisé, provenant de la précipitation du chlorure d'or par le vitriol vert (sulfate



ferreux); cette pâte, fluide et brune, est appliquée au pinceau et laisse, au sortir du grand feu, un dépôt d'*or mat* partout où on l'a mise; on peut donner du brillant à l'or en le frottant avec un corps dur (*brunissoir* en agate, etc.).

**Couleurs de moufle.** — Nous avons indiqué que la plupart des couleurs s'altèrent au grand feu; d'où il suit que, si l'on

veut les employer, il ne faudra les appliquer qu'après la seconde cuisson et reporter ensuite à une température modérée, telle que celle qui est réalisée dans les petites capacités fermées, chauffées de toutes parts, appelées *mouffles* (fig. 395); le degré de cuisson y est réglé par l'observation de petites plaques de porcelaine appelées *montres* sur lesquelles on a déposé des couleurs très délicates, comme, par exemple, du *pourpre de Cassius*, qui est une sorte de laque d'or à base d'oxyde d'étain; cette matière est jaunâtre si elle n'est pas assez cuite, et *rose* si elle est à point. Toutes les couleurs qui ne supportent pas le grand

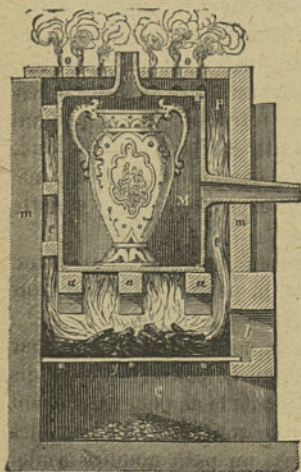


Fig. 395. — Cuisson au moufle.

feu sont appelées *couleurs de moufle*.

**Grès cérames.** — Un grès<sup>1</sup> se distingue de la porcelaine par son opacité, et de la faïence et autres terres cuites par l'imperméabilité de sa pâte. Celle-ci est composée d'argile colorée et de sable quartzéux. On cuit une seule fois, mais au grand feu, et on glace en jetant dans le four du sel marin humide qui se volatilise et, réagissant sur la pâte argileuse, forme une couverte de silicate d'aluminium et de sodium.

1. Ne pas confondre avec les pierres naturelles qui portent le même nom.

Les grès servent à fabriquer des vases capables de résister à l'action des produits chimiques et industriels.

**Faïences.** — Toute poterie à cassure terreuse et recouverte d'un émail est une faïence. Les articles de choix ont la pâte blanche (kaolin et sable quartzeux), les autres sont colorés (argile et sable). Quoi qu'il en soit, cette pâte se prépare comme celle de porcelaine, sauf qu'on ne prend pas la peine de l'obtenir d'abord en barbotine, afin d'éviter la main-d'œuvre des filtres-presses. La cuisson se fait en deux fois, mais à une température moins élevée que celle du four à porcelaine, d'où une économie de combustible et de *manqués*; il faut masquer la pâte, soit parce qu'elle est poreuse, quoique blanche, soit parce qu'elle est, en outre, colorée. On la revêt donc d'une glaçure qui sera transparente si la pâte est blanche, opaque si elle est colorée. Cette couverture est constituée par un verre plombeux, véritable cristal, obtenu par le mélange de carbonate de potassium, de quartz et de minium; on peut opacifier par le bioxyde d'étain.

Les faïences sont moins dures que la porcelaine, elles sont dénuées de translucidité et les rainures qu'y détermine le passage du couteau noircissent rapidement.

**Poteries communes.** — Les pots à fleurs, marmites, poêlons en terre, etc., sont fabriqués au moyen d'une pâte d'argile ocreuse, de sable et de marné. Après un façonnage analogue à celui de la porcelaine et de la faïence et une première cuisson, les objets sont immergés dans un baquet contenant de l'eau, de l'argile, du sable et du minium; ils se recouvrent ainsi d'un dépôt qui, après la seconde cuisson, formera un vernis à base de plomb; il faudra donc s'abstenir de laisser des aliments acides séjourner trop longtemps dans ces poteries.

Les briques et les tuiles sont faites avec les argiles les plus grossières moulées à la main ou mécaniquement, séchées et enfin cuites. Les briques et les creusets réfractaires sont obtenus avec de l'argile riche en silice et en alumine, mais pauvre en matières étrangères: chaux, oxyde de fer, alcalis, qui lui donneraient de la fusibilité. Comme matière dégraissante, on prend de l'argile déjà cuite, du ciment, etc.



## IV. — ÉCLAIRAGE

Nous avons déjà passé en revue tout ce qui se rapporte aux *chandelles* et aux *bougies* (Voir chap. iv, § 6, *Huiles et corps gras, savons et bougies*), ainsi que la question du gaz d'éclairage (Voir chap. ii, § 2, *Combustibles artificiels, gaz de houille*).

Un autre gaz, qui rend de grands services dans les campagnes où n'existe pas d'usine à gaz de houille, est l'*acétylène*, hydrocarbure répondant à la formule très simple  $C^2H^2$  et qu'on

obtient aisément par l'action de l'eau sur le *carbure de calcium* préparé au four électrique. La flamme de l'acétylène est dix à quinze fois plus éclatante que celle du gaz ordinaire brûlant dans les anciens becs, mais il faut remarquer que, depuis la découverte et l'application des *manchons à incandescence Auer*, on utilise

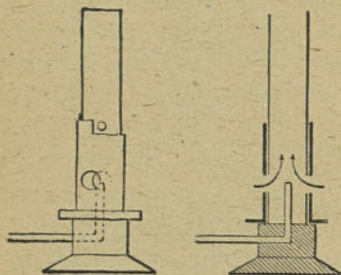


Fig. 396. — Brûleur Bunsen.

le gaz de houille dans des conditions incomparablement meilleures qu'autrefois, tant au point de vue du pouvoir éclairant que sous le rapport de la dépense. Voici en quoi consiste l'invention de Auer : un manchon, constitué par un réseau filamenteux ajouré, est imprégné de *terres rares* : oxyde de thorium et oxyde de cérium, dans la proportion de 99 pour 100 du premier pour 1 pour 100 du second ; d'autre part, on dispose le bec de gaz en *brûleur Bunsen* (fig. 396), c'est-à-dire qu'on perce à la base des orifices par lesquels l'air extérieur se trouve aspiré et vient se mélanger au gaz de houille, formant ainsi un produit complexe très combustible, qui brûle avec une flamme bleuâtre très pâle mais *extrêmement chaude*,



à température beaucoup plus élevée qu'une flamme ordinaire plus lumineuse. Aussi, vient-on à coiffer cette flamme bleue avec le manchon, les terres rares contenues dans celui-ci s'illuminent brillamment et rayonnent en tous sens une lumière très éclatante. La figure 397 représente un *bec Auer*; on aperçoit à la partie inférieure un des orifices (figuré en noir) d'appel de l'air; au-dessus, le manchon *a* et, autour, la cheminée de tirage *V*, en verre mince.

**Éclairage électrique.** — L'éclairage électrique peut s'employer sous deux formes : les lampes dites à *incandescence* et celles à *arc*.

1<sup>o</sup> **Lampes à incandescence.** — La partie essentielle de ces appareils est un filament *réfractaire* porté à l'incandescence par le passage du courant. Ce filament peut être en carbone, en métal ou constitué par un oxyde terreux.

A) **Filament en carbone.** — Celui-ci est obtenu au moyen d'une pâte de cellulose passée à la filière, puis calcinée et enfin *nourrie* dans une atmosphère d'hydrocarbures, afin d'en uniformiser la section : par le passage d'un courant les parties plus faibles chauffent davantage et décomposent l'hydrocarbure d'où, en ces régions, un dépôt de graphite compensant le défaut d'épaisseur. Les extrémités de ce filament sont réunies à deux fils de platine, ou d'acier-nickel, de même coefficient de dilatation que le verre, et qui traversent la paroi d'une *ampoule* de verre où l'on a fait le vide

au moyen d'une pompe à mercure. Les fils de platine sont continués par des fils de cuivre aboutissant à deux *plots*, de même métal bloqués dans le *culot* en plâtre de la lampe

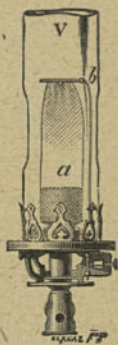


Fig. 397. — Bec et manchon Auer.

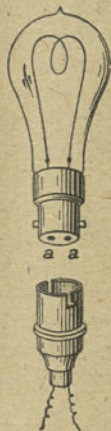


Fig. 398. — Éclairage électrique par incandescence; lampe à filament de charbon.

(fig. 398). Celle-ci est mise en communication avec la canalisation électrique par insertion dans une *douille* en cuivre entaillée d'une monture à baïonnette. La température du fil est de 1600 à 1700° et n'amène pas la combustion du carbone parce que celui-ci se trouve dans le vide. Au bout de 600 heures environ, l'éclat faiblit et un dépôt de charbon, formé par volatilisation lente, vient obscurcir les parois de l'ampoule. Le type usuel a une intensité lumineuse de 16 bougies nécessitant une différence de potentiel de 110 volts aux bornes et un courant de  $\frac{1}{2}$  ampère. L'énergie absorbée pendant chaque seconde est

3 w. 4 par bougie; il est donc facile de calculer *a priori* la dépense à raison de 0 fr. 07 par hectowatt-heure, par exemple.

B) *Filament métallique*. — On a cherché depuis longtemps à remplacer le carbone par un métal, afin de pouvoir *pousser* davantage la lampe, c'est-à-dire augmenter l'intensité et la température, car le rendement lumineux croît alors très vite. Il faut, pour cela, un métal très difficilement fusible; le platine ne convient pas; l'osmium et le tantale et surtout le tungstène dont le point de fusion dépasse 3000°, ont donné d'excellents résultats. Le filament métallique n'a que quelques centièmes de millimètres de diamètre et une longueur de plusieurs décimètres; aussi, le recourbe-t-on dans la lampe en lui faisant faire un certain nombre de zigzags. On a encore amélioré le rendement lumineux et atténué le noircissement des ampoules en les remplissant d'un gaz inerte tel que l'azote. Certaines de ces lampes ne consomment presque que un demi-watt par bougie.

C) *Filament terreux ou à oxyde métallique*. — Dans la lampe *Nernst*, le filament est un bâtonnet de magnésie ou d'alumine mélangé à une proportion déterminée de terres rares, comme dans le manchon Auer. Cette lampe n'exige pas d'ampoule à vide, car les oxydes en question sont inaltérables à l'air; mais il y a une difficulté; ces oxydes ne se laissent pas traverser par le courant, à froid; c'est à chaud seulement qu'ils deviennent conducteurs; aussi y a-t-il un dispositif de chauffage préalable du bâtonnet par le courant lui-même qui, dans ce but et pour commencer, circule dans une petite spirale de platine avoisinant le bâtonnet; puis automatiquement, quand



celui-ci est chaud, le courant quitte le fil de platine et s'engage dans le bâtonnet. Cette lampe, qui consomme environ 2 watts par bougie, donne une lumière très éclatante et d'une blancheur remarquable.

2<sup>o</sup> Lampes à arc. — On installe, dans le circuit d'une dynamo ou d'une batterie d'accumulateurs pouvant fournir au moins 40 volts, un système composé de deux bâtons en charbon



Fig. 399. — Arc électrique entre charbons.

des cornues, placés dans le prolongement l'un de l'autre et préalablement amenés au contact; celui-ci s'échauffe sous le passage du courant, devient incandescent et l'on peut bientôt éloigner progressivement les deux charbons à 1 ou 2 centimètres de distance; on voit alors se produire une flamme très brillante qui est l'arc électrique, ainsi appelée à cause de sa forme convexe vers le haut et due simplement à l'ascension des gaz chauds (fig. 399). Cet arc est composé d'air chaud et de particules incandescentes de carbone qui vont du pôle + au pôle -, ce qui explique que le premier de ceux-ci est creusé en *cratère* et le second terminé par une petite pointe due aux apports provenant du pôle + (fig. 400). Comme le phénomène a lieu dans l'air, les charbons se consomment peu à peu et l'usure du pôle + est deux fois plus rapide que celle du pôle -; aussi a-t-on imaginé des arcs en vase clos, à l'abri de l'oxygène. La véritable source lumineuse est ce cratère positif, dont on évalue la température à 3500°, qui est la plus élevée que l'homme sache actuellement réaliser; l'arc est un peu plus



Fig. 400. — Arc entre charbons; aspect différent des extrémités en regard.



chaud, mais, comme il est gazeux, il rayonne moins; quant au pôle —, sa température est voisine de 2500°.

Par suite de l'usure des charbons, leur distance augmente constamment de sorte que, si l'on ne prend pas de précautions spéciales, l'arc arrive à s'éteindre; il faut donc maintenir cette distance constante au moyen d'un *régulateur automatique*.

Il existe un grand nombre de systèmes; nous nous contenterons d'en signaler deux, schématisés par les figures 401, *a* et *b*. Dans la

figure *a*, la bobine E est à noyau de fer doux; c'est donc un électro-aimant parcouru par une dérivation du courant principal; celui-ci, en allure normale, arrive en B, passe en APNC et s'en retourne à la dynamo ou à la batterie; une faible dérivation seulement passe par l'électro; mais, si la distance des charbons devient trop grande, le courant faiblit en PN et devient très intense dans la dérivation; l'électro-aimant E attire alors, très fortement l'armature de fer doux A qui est au-dessus, ce qui a pour effet de rapprocher les charbons et de faire rejallir l'arc entre eux-ci. La figure 401, *b*, est la représentation d'un système différent: quand le courant faiblit en PN, il augmente dans le solénoïde SS' et happe davantage le fer doux AB, ce qui a encore pour effet de rapprocher les charbons. Comme on le voit par ces deux exemples, le régulateur automatique, à électro-aimant ou à solénoïde, est toujours installé en dérivation sur l'arc à régler.

Fig. 401. — Régulateurs automatiques pour lampes à arc.

L'énergie absorbée par un arc, est d'environ 0 w. 75 par bougie.

**Charbons à mèche.** — Le centre du charbon est constitué par une pâte plus tendre que celle de la périphérie; alors, l'arc se forme constamment suivant l'axe, de sorte que la lumière est émise symétriquement dans toutes les directions de l'horizon.

**Charbons à flamme.** — Le centre est une pâte composée d'oxydes alcalino-terreux, qui donnent à l'arc une couleur plus agréable, rouge-jaune par exemple.

**Arc sifflant.** — Lorsqu'on diminue graduellement l'intensité du courant on entend, avant extinction complète, un sifflement caractéristique.

**Arc flambant.** — Si, au contraire, on augmente l'intensité du courant, il se produit des flammes jaunes en abondance. Le régime d'intensité le plus convenable est celui qui est intermédiaire entre le sifflement et le flambage ; on y arrive par la mise en série d'un *rhéostat* de réglage.

**Lampe au mercure.** — Le physicien Cooper Hewitt a eu l'idée de faire jaillir l'arc au sein d'une atmosphère de vapeur mercurielle : on obtient ainsi une lumière violette très intense, pour une température du tube qui ne dépasse guère 150°. C'est donc là une lumière très économique puisqu'elle

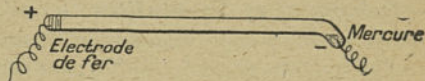


Fig. 402. — Arc au mercure.

chauffe fort peu ; malheureusement sa teinte violette la rend peu agréable. Pour la produire, on se sert d'un long tube de verre, vidé d'air et légèrement incliné (fig. 402) ; il contient un peu de mercure dans la partie basse, c'est l'électrode — ; tandis qu'un capuchon de fer forme, à l'autre extrémité, l'électrode +. Pour allumer, on fait basculer le tube, de manière à répandre une trainée de mercure dans toute la longueur, puis on remet l'appareil dans sa position initiale : la lumière jaillit alors d'une manière continue.

**Tubes au néon.** — Le *néon* est un gaz rare de l'air, sa *cohésion diélectrique* est très faible, de sorte qu'une différence de potentiel relativement faible suffit pour y faire jaillir une décharge ; celle-ci peut ainsi franchir un tube de verre gros comme le bras, long de 8 à 10 mètres, et rempli de néon pur, en produisant une *lumière froide*, extrêmement intense et d'aspect orangé agréable.

## CHAPITRE VIII

### INDUSTRIES DIVERSES

SOMMAIRE. — *Allumettes chimiques et autres.* — *Papiers.* — *Plumes métalliques.* — *Crayons.* — *Imprimerie.* — *Gravure et lithographie.* — *Notions sur la photographie et ses principales applications aux arts et à l'industrie.*

#### I. — ALLUMETTES CHIMIQUES ET AUTRES PROCÉDÉS D'ALLUMAGE.

**Principes et généralités.** — Étant donné un corps inflammable entouré du comburant nécessaire, comme l'oxygène de l'air toujours présent, il suffit, pour déclencher le phénomène chimique de la combustion, de provoquer en un point quelconque de la région de contact des deux corps une élévation suffisante de température de façon à vaincre ce que l'on a appelé le frottement chimique et à faire sortir le système de la zone de faux équilibre. Ce résultat peut être obtenu par les moyens suivants actuellement connus : le frottement mécanique, l'étincelle électrique, le contact catalytique et enfin la compression brusque ou *adiabatique* des gaz. Ceci permet de classer les dispositifs d'allumage selon leur principe, comme le montre le tableau résumé suivant :

Procédés d'allumage	par frottement mécanique	Allumettes chimiques.
		Briquet à silex (pierre à feu).
	par étincelle électrique	Briquet à ferro-cérium, etc.
		Moteurs à explosion (essence, gaz, etc.).
par contact catalytique.	Exploseurs de mines et autres.	
par compression brusque.	Eudiomètres et autres appareils scientifiques.	
	Self-allumeurs, ou auto-allumeurs pour le gaz d'éclairage.	
	Briquet à air des cours de physique.	



Nous allons décrire sommairement quelques-uns de ces procédés les plus usités.

### Allumettes chimiques.

La fabrication des allumettes chimiques constitue un monopole de l'Etat ; elle est donc interdite aux particuliers. Les allumettes ordinaires, ou communes, sont constituées par des petites tiges prismatiques de bois de peuplier blanc ou de tremble, tandis que les allumettes plus soignées sont formées par de petites bûchettes cylindriques en bois de pin. Pour fabriquer ces bâtonnets on commence par débiter l'arbre bien sec sous forme de bûches courtes ; celles-ci sont ensuite soumises dans le sens des fibres à l'action de lames acérées, mues mécaniquement, qui les amènent à l'état de petites tiges de la grosseur voulue. Il s'agit maintenant de garnir une des extrémités des ingrédients nécessaires à son inflammation ; les opérations nécessaires sont très simples et peuvent se faire à la main, mais les besoins énormes de la consommation et les intérêts de la Régie exigent d'aller vite et économiquement, d'où l'emploi nécessaire de machines appropriées ; passons rapidement en revue les diverses phases de la fabrication.

1° **Mise en presse ou châssis.** — Pour aller vite, il faut pouvoir garnir à la fois des milliers d'allumettes de la composition voulue ; il faut donc que les bûchettes soient assemblées régulièrement dans une *presse* (fig. 403) qui n'est pas

autre chose qu'un cadre ou châssis métallique ABCD, fermé sur trois côtés mais laissé ouvert sur le quatrième AB. Il s'agit de juxtaposer les tiges de façon qu'elles soient le plus serrées possible, mais non absolument au contact, sans quoi elles *colleraient* les unes aux autres après trempage dans les bains,

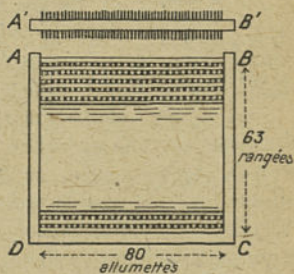


Fig. 403. — Presse, ou châssis, contenant régulièrement alignées et espacées, les bûchettes devant former les futures allumettes.

sulfuré ou phosphoré. Les bûchettes devront donc présenter entre elles un léger intervalle, résultat qui est obtenu de la manière suivante; une caisse fixe A (fig. 404) contient une

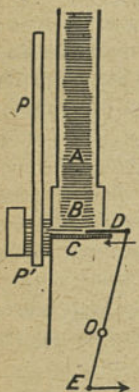


Fig. 404. — Schéma de la machine destinée à la mise en presse des bûchettes.

charge importante de bûchettes disposées parallèlement entre elles et au plan de la figure; ces baguettes gagnent progressivement le fond d'une boîte B, placée en dessous de A, et animée d'un mouvement vibratoire dans le sens perpendiculaire au précédent; ces trépidations ont pour effet de disposer automatiquement et régulièrement les bûchettes dans les 80 rainures équidistantes d'une plaque C qui forme le fond de la boîte B, et alors une sorte de peigne D, comprenant un nombre égal d'aiguilles et actionné par le mécanisme, pivote autour d'un axe O et chasse d'un seul coup toute la rangée de bûchettes qui vient se loger dans le cadre-pressé PP' dont il a été parlé. Au-dessus de cette première rangée on dépose une mince latte séparative sur laquelle une deuxième rangée de bûchettes viendra prendre place par une opération toute semblable, et ainsi de suite

jusqu'à la 63<sup>e</sup> rangée, ce qui fera en tout  $63 \times 80 = 5040$  allumettes. On presse le tout à la partie supérieure pour assurer la fixité de l'ensemble; on obtient ainsi le cadre garni que représente partiellement la figure 403 et qui est prêt à servir dans toute la suite des opérations. Un ouvrier actif peut ainsi ranger 700 000 allumettes par jour.

2<sup>o</sup> **Soufrage, ou empâtage.** — Le cadre-pressé garni de ses bûchettes est déposé au-dessus d'une plaque de tôle chaude afin de tiédir les extrémités des tiges et les rendre ainsi plus aptes à recevoir et à garder le soufre fondu. Ensuite le cadre est placé au dessus d'une cuvette peu profonde (fig. 405) contenant le soufre entretenu à l'état liquide, vers 126° environ<sup>1</sup>,

1. Le soufre fond vers 144°.



par une circulation continue sous-jacente de vapeur d'eau. Sur la figure, on voit en PP' le cadre garni de ses bûchettes dont les extrémités inférieures plongent légèrement dans le bain de soufre; il faut veiller attentivement à ce que le niveau de celui-ci demeure parfaitement constant afin que le garnissage soit bien régulier et uniforme. On passe immédiatement après à l'opération suivante : le chimiquage.

### 3<sup>o</sup> Chimiquage. —

C'est l'opération par laquelle les extrémités

déjà soufrées sont enduites de la pâte qui, par le frottement, doit s'enflammer et allumer le soufre. La machine employée se compose essentiellement de deux cylindres A et B (fig. 406) actionnés par un même mécanisme et tournant en sens inverse.

Le rouleau inférieur B plonge partiellement dans un bain de pâte phosphorée contenu dans une auge C; en tournant, il garde par adhérence une mince couche de substance laquelle, venant ensuite en contact *m m* avec les bûchettes, garnit les extrémités de celle-ci (déjà soufrées de la quantité de matière inflammable nécessaire). Quant au rouleau supérieur A, il sert uniquement à maintenir le cadre de bûchettes à la même hauteur, de manière à ce que les extrémités de celles-ci restent toujours parfaitement en contact avec la surface du

cylindre B. Des tablettes et des guides (non visibles sur la figure) assujettissent la presse dans une position horizontale. Les cadres passent ensuite au séchage dont on va dire un mot plus loin.

**Composition de la pâte inflammable.** — Autrefois



Fig. 405. — Soufrage des bûchettes.

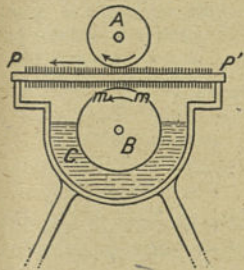


Fig. 406. — Empâtage chimique ou chimiquage des extrémités déjà soufrées.



la pâte était constituée par du phosphore ordinaire, ou phosphore *blanc*, mais la manipulation de ce métalloïde était très dangereuse pour le personnel chez lequel il provoquait généralement, au bout d'un certain temps, l'apparition d'une affection redoutable : une *nécrose* ou mortification des os maxillaires, principalement chez les sujets atteints de la plus minime altération préexistante des dents. Aussi, a-t-on remplacé, pour les allumettes ordinaires, le phosphore dit blanc (qui, en réalité, est transparent, de coloration un peu ambrée) par un dérivé moins dangereux qui est le *sesquisulfure de phosphore* (formule chimique  $P^4S^3$ ). La pâte de *chimiquage* a alors la composition suivante :

}	Sesquisulfure de phosphore . . . . .	4 k. 335	c'est la matière <i>combustible</i> , inflammable par frottement;
	Chlorate de potassium . . . . .	13 kg.	c'est la matière <i>combuvante</i> , fournissant l'oxygène destiné à faciliter l'inflammation du début.
	Verre pilé très fin . . . . .	2 k. 340	pour augmenter le dégagement de chaleur par le frottement et faciliter l'allumage.
	Ocre rouge, ou blanc de zinc . . . . .	2 k. 330	<i>Idem. Idem.</i>
	Colle forte . . . . .	9 k. 250	} pour agglutiner le tout.
Eau . . . . .	14 kg.		

4<sup>o</sup> **Séchage.** — Les cadres chimiqués sont déposés sur des voiturettes que l'on introduit dans un *séchoir*, sorte de bâtiment en maçonnerie de deux ou trois mètres de hauteur, hermétiquement fermé, ne communiquant avec l'extérieur que par deux ouvertures destinées à une circulation d'air envoyée par un ventilateur et agissant méthodiquement.

5<sup>o</sup> **Emboitage.** — Les allumettes sont mises en boîtes et celles-ci sont entourées d'une bande timbrée de la Régie.

REMARQUE. — On a cherché à augmenter encore le rendement de la fabrication en rapidité et économie par l'adoption de machines *continues* qui effectuent sans interruption la série

des opérations décrites ; mais le principe de la fabrication reste le même au fond. Signalons les machines *Cahen et Sevène*.

**Allumettes-tisons.** — Les bûchettes sont rondes ; après avoir été mises en presses, comme précédemment, elles sont trempées successivement dans les compositions suivantes :

1<sup>o</sup> Pâte grise :

Phosphore <i>amorphe</i> . . . . .	0 k. 750
Chlorate de potassium . . . . .	11 kg.
Sciure de bois tamisée . . . . .	1 k. 500
Verre finement pulvérisé . . . . .	15 k. 300
Gomme du Sénégal . . . . .	5 kg.
— adragante . . . . .	0 k. 500
Eau . . . . .	16 k. 200

Le phosphore désigné sous l'appellation particulière d'*amorphe* n'est, en réalité, que la variété dite « rouge »<sup>1</sup>, qui, à l'encontre de la variété « blanche », n'est pas vénéneuse et ne s'enflamme que sur un frottoir spécial.

2<sup>o</sup> Pâte rouge (Chimiquage). — Après dessiccation de l'enduit précédent, les extrémités sont appliquées sur un plan de marbre enduit de la composition suivante :

Chlorate de potassium . . . . .	19 k. 800	Verre pulvérisé . . . . .	6 k. 500
Chromate de baryum . . . . .	4 kg.	Colle forte . . . . .	1 kg.
Minium (rouge) . . . . .	1 k. 300	Gomme adragante . . . . .	0 k. 200
Fuchsine ( <i>id.</i> ) . . . . .	0 k. 450	— du Sénégal . . . . .	2 kg.
Fleur de soufre . . . . .	1 k. 800	Eau . . . . .	13 k. 350

Le rôle des divers ingrédients de ces deux pâtes, grise et rouge, se comprend suffisamment d'après les explications correspondantes données à propos de la pâte des allumettes ordinaires ; par exemple, le chlorate de potassium, le chromate de baryum, le minium sont des oxydants donc des comburants, le soufre est combustible, le verre un agent de frottement ; la colle, les gommés et l'eau des agglutinants.

Ensuite séchage et mise en boîtes timbrées. Ces allumettes, spéciales pour fumeurs et coûteuses, ont la propriété de s'allu-

mier même quand il y a du vent. Un des côtés de la boîte forme *frottoir* et est recouvert d'une composition spéciale dans laquelle figurent notamment le sulfure d'antimoine (combustible), le chlorate de potassium (comburant activant), le verre pilé, la colle et l'eau.

— *Allumettes dites « Suédoises »*. — Ce sont aussi des allumettes à phosphore rouge et à frottoir spécial ayant par conséquent le double avantage d'éviter les dangers d'incendie et d'empoisonnement. De plus la bûchette peut être rendue plus combustible par imprégnation de paraffine.

Les ingrédients les plus importants de la tête de l'allumette sont :

}	Chlorate de potassium . . . . .	100 (activant)
	Sulfure d'antimoine ( $Sb^2S^3$ ) . . . . .	40 (comburant)
	Colle forte . . . . .	20 (agglutinant)
	Eau, etc. . . . .	

La pâte du frottoir est composée comme suit :

}	Phosphore rouge (vulgairement : amorphe). . . . .	100
	Sesquisulfure d'antimoine ( $Sb^2S^3$ ). . . . .	80
	Colle forte . . . . .	50
	Eau, etc. . . . .	

Les *allumettes américaines* possèdent une facilité d'inflammation et une stabilité de combustion comparables aux suédoises avec cet avantage supplémentaire qu'ayant une tige plus longue elles ont une durée plus grande ; elles sont en outre peu coûteuses : ces allumettes ont été très prisées des consommateurs français aux débuts de la grande guerre mondiale en 1914 et 1915.

*Allumettes-bougies*. — Une fine mèche de coton non tressée est d'abord passée dans un bain de cire fondue puis ensuite à travers une filière pour donner un filament bien régulièrement cylindrique. Ce filament est ensuite découpé en petits tronçons égaux formant comme autant de petites bougies dont on garnit ensuite une des extrémités d'une composition inflammable additionnée comme toujours d'un comburant activant, d'un agglutinant, etc.



**Allumettes sans soufre.** — Dans une allumette ordinaire remplaçons le soufre qui, en brûlant, donne une odeur désagréable de gaz sulfureux ( $\text{SO}^2$ ) par une substance telle que la *paraffine*, nous obtiendrons une allumette dite sans soufre ; il faudra seulement forcer un peu la proportion de l'activant, c'est-à-dire du chlorate, parce que la paraffine s'enflamme un peu moins facilement que le soufre. Ces allumettes ne sont pas courantes en France, la Régie ne les fabriquant pas et l'*importation des allumettes de nature quelconque étant prohibée* et punie des peines les plus sévères.

## Briquets.

**Briquet à silex.** — Si l'on passe rapidement et en appuyant un peu fortement un morceau d'acier sur une pierre siliceuse (silice  $\text{SiO}^2$ ), donc capable d'user l'acier et d'en détacher un petit copeau, la chaleur dégagée par le frottement est suffisante pour porter ce copeau métallique à l'incandescence ; si alors on dirige celui-ci sur un corps inflammable tel que de l'amadou, cette substance entrera en ignition. Tel est le principe du vulgaire briquet, et aussi celui au moyen duquel on enflammait la charge de poudre dans les anciens fusils (pierre à fusil, fusils à pierre).

**Briquet à ferro-cérium.** — Principe analogue au précédent, avec cette variante que le silex est remplacé par une molette striée M en acier dur (figure schématique 407) dont le pourtour, sous l'action d'une impulsion brusque  $f$ , vient frotter contre un petit morceau de ferro-cérium F<sup>1</sup> et en détache des particules incandescentes ; celles-ci, venant rencontrer l'extrémité C d'une petite mèche imbibée d'essence minérale en produisent l'inflammation. La mèche AB est contenue dans un petit

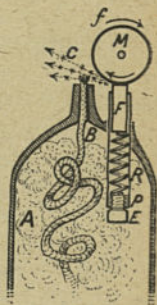


Fig. 407. — Schéma d'un briquet d'allumage, ou ferro-cérium et à molette.

1. Alliage de fer et du métal cérium,

réceptif de forme quelconque contenant un corps poreux, éponge, ouate..., imprégné d'essence. Le ferro-cérium s'use assez rapidement et doit être maintenu constamment appliqué contre la molette M par la tension d'un petit ressort R dont on remonte de temps en temps l'extrémité inférieure au moyen d'un petit écrou E. Ces appareils très pratiques font concurrence aux allumettes de la Régie, aussi doivent-ils être poinçonnés par celle-ci après acquittement d'un droit.

**Auto-allumeurs, ou self-allumeurs.** — Nous lais-

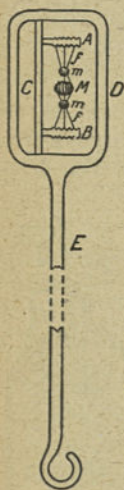


Fig. 408. — Auto-allumeur, ou self-allumeur, au noir de platine.

serons de côté ici tout ce qui concerne l'allumage par étincelle ou par compression brusque des gaz, pour nous borner à donner le principe des self-allumeurs si répandus maintenant. La matière essentielle est un ensemble de quelques grumeaux de noir de platine *mMm* (figure 408) soutenus par autant de fils extrêmement fins du même métal. Le noir en question est du platine amené à un état de particules d'une finesse inouïe par des moyens chimiques appropriés; sous cet état il possède à un très haut degré, la propriété de condenser dans ses pores les gaz en général, ceux de l'air et du gaz d'éclairage par conséquent, et d'amener alors ceux-ci à la température à partir de laquelle ils commencent à réagir chimiquement, donc à se combiner et à manifester le phénomène d'inflammation; aussi, en présentant ce dispositif un

peu au-dessus d'un robinet de gaz, voit-on d'abord les boulettes *mMm* rougir rapidement, mais pas suffisamment à cause de leur grand pouvoir émissif qui fait qu'elles tendent à perdre leur chaleur par rayonnement dans le milieu ambiant. C'est alors que les filaments *ff* jouent leur rôle en s'échauffant par contact avec les masses de noir mais en gardant mieux leur chaleur acquise à cause du faible pouvoir émissif des métaux polis; aussi prennent-ils rapidement un éclat très vif et l'allumage du gaz se produit.

## II. — LE CAOUTCHOUC

Cette matière, qui a acquis de nos jours une grande importance, ne commença à être un peu connue qu'à la suite des voyages en Amérique du savant français La Condamine, vers 1736. L'emploi de cette substance fut d'abord très limité (gomme à effacer le crayon, « indian rubber » des Anglais) et ce ne fut qu'un siècle plus tard que la découverte par Goodyear de la *vulcanisation*, qui permet de communiquer au caoutchouc des propriétés nouvelles, vint lui permettre de prendre l'essor industriel que nous constatons aujourd'hui.

Nous diviserons notre étude en trois parties :

- 1<sup>o</sup> Obtention du caoutchouc brut, ou d'origine ;
- 2<sup>o</sup> — — — — — épuré, ou régénéré ;
- 3<sup>o</sup> — — — — — manufacturé.

## I. Caoutchouc brut, ou d'origine.

**Etat naturel.** — Le caoutchouc résulte de la coagulation et dessiccation du suc laiteux — ou *latex* — qui s'écoule des incisions faites à diverses plantes tropicales : arbres, arbrisseaux<sup>1</sup>, lianes, herbes.

Les grandes régions productrices de la « gomme » sont :

- 1<sup>o</sup> Le bassin de l'Amazone (Amazonie, Brésil) ;
- 2<sup>o</sup> Le bassin équatorial africain ;
- 3<sup>o</sup> Les régions équatoriales de l'Asie et de la Malaisie.

La plante productrice par excellence, celle qui donne le meilleur produit, est, sans contredit, un bel arbre, l'*hevea brasiliensis*, qui forme d'immenses forêts dans la province de Para (bassin de l'Amazone), où il trouve les terres chaudes, humides et fertiles qui conviennent particulièrement bien à son développement.

Il existe en Afrique des forêts entières de plantes, herbes,

1. Une de ces plantes portait le nom de « Cautshu », d'où le nom du produit.



lianes, arbustes gummifères différents de l'hevea, mais ne donnant que des produits moins appréciés. D'ailleurs les procédés barbares d'exploitation ont fait reculer les essences à des distances énormes vers l'intérieur et en rendent l'exploitation onéreuse. Les régions asiatiques et malaises ont subi un sort analogue mais elles retrouvent maintenant sous ce rapport une brillante prospérité par la *culture de l'hevea* qui se développe de plus en plus à Ceylan, aux Indes néerlandaises, au Bornéo britannique et enfin dans la Péninsule Malaise (qui comprend : 1<sup>o</sup> les Straits Settlements — ou Établissements anglais des Détroits (Singapore); 2<sup>o</sup> les quatre États fédérés malais; 3<sup>o</sup> les États protégés. Dans ces contrées le développement de la production du caoutchouc cultivé dit « plantations » a été prodigieux <sup>1</sup>, passant de 4 tonnes en 1900, à 130 000 tonnes en 1916, tandis que le produit tiré de l'arbre sauvage est demeuré stationnaire; nous assistons là au phénomène déjà constaté maintes fois de la transformation graduelle d'une industrie extractive en exploitation agricole.

Comme cela a été déjà indiqué, l'espèce végétale cultivée est l'hevea ou *seringueira* amazonien, seule susceptible de s'acclimater et de prospérer par culture et capable de donner un produit marchand. Il faut à cet arbre un climat chaud et humide, une terre très fertile, argileuse ou siliceuse, abritée des vents violents et desséchants; ces conditions se trouvent réalisées dans les Straits Settlements et dans les États fédérés Malais. D'autres régions: Ceylan, Java, la Cochinchine..., offrent aussi des conditions favorables quoique à un degré un peu moindre à cause de certaines périodes de sécheresse.

L'hevea est un arbre élevé (environ 20 mètres de hauteur) dont toutes les parties sont parcourues par des fins canaux où circule le latex, liquide constitué par un *sérum*, qui est de l'eau contenant en *dissolution* diverses substances et en *suspension* une infinité de globules microscopiques animés de mouvements trépidants très rapides appelés mouvements browniens.

1. Voir à la fin: Notions statistiques et économiques.

L'exsudation s'accroît après plusieurs saignées, c'est ce qu'on appelle la réponse à la blessure.

**Exploitation de l'hevea.** — Elle diffère selon les contrées. En Amazonie, le traitement appliqué à l'arbre sauvage dont nous représentons une coupe (figure 409) est tout à

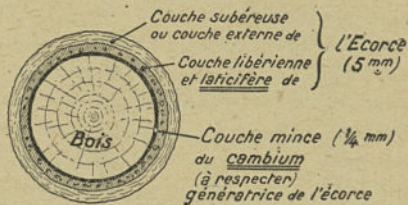


Fig. 409. — Coupe d'un tronc d'hevea, arbre à caoutchouc du Brésil.

fait barbare ; le *seringueiro*, c'est-à-dire l'homme chargé de cette opération, blesse l'arbre à quelques mètres de hauteur au moyen d'une hachette dont il enfonce le tranchant presque parallèlement à l'écorce — ou *seringa* — de manière à respecter le cambium qui est l'organe de régénération de l'écorce ; il en résulte un afflux de latex vers le bas (réponse à la saignée) où l'homme fait, quelque temps après, de nouvelles incisions en dessous desquelles il fixe un petit pot qui recevra le liquide écoulé.

Dans les plantations, la méthode suivie est un peu différente. Au moyen d'un couteau spécial, on pratique d'abord à la base du tronc une incision verticale AB (Voir figure 410), puis deux incisions obliques A'A, BB', l'ensemble constituant une sorte d'arête de poisson. Presque aussitôt, un liquide blanc, le latex, s'en écoule et se réunit dans un gobelet ; puis, peu à peu, le suc s'épaississant, la plaie se ferme ; les fentes obliques sont alors

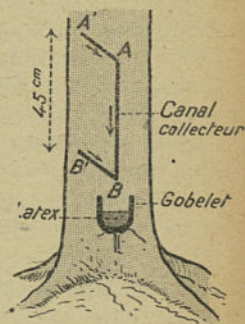


Fig. 410. — Saignée de l'arbre à caoutchouc.



élargies progressivement, en allant à la rencontre l'une de l'autre, de sorte que tout l'espace intermédiaire arrive à former une seule et large plaie qu'on abandonne ensuite à elle-même durant plusieurs années jusqu'à cicatrisation et guérison. Pendant ce long repos on traite de la même manière le tour de l'arbre et on revient enfin à l'endroit primitif qui est guéri et on recommence le cycle.

L'hevea de plantation commence à subir cette série de traitements vers l'âge de cinq à six ans et rend environ 1 kilogramme de gomme sèche par an et par arbre.

**Traitement du latex.** — Le caoutchouc se trouve dans le latex à l'état dit *colloïdal* ou d'*émulsion*, c'est-à-dire de très fines particules analogues aux globules microscopiques de la matière grasse du lait animal, sauf la différence de nature ; comme ce dernier liquide, le latex gummifère est très altérable et demande à être traité sans retard en vue de la coagulation ; divers agents sont capables d'amener ce résultat : eau salée, alcool, chaleur, etc. ; ils séparent les globules qui viennent alors former à la surface une couche crémeuse blanchâtre. Mais les seules méthodes réellement pratiques et usitées un peu généralement sont l'*enfumage* et le procédé dit à l'*acide acétique*.

1<sup>o</sup> **Procédé par enfumage**, seul usité en Amazonie. — La fumée, par suite des substances chimiques âcres qu'elle contient, aldéhydes, cétones, créosote, etc., provoque aisément la coagulation du latex ; celui-ci étant contenu dans un baquet, on allume un feu de bois vert susceptible de produire beaucoup de fumée par addition de noix huileuses de palmier ; une sorte de diable (voir figure 411) est placé dessus pour canaliser les gaz et on y expose une planchette que l'on a préalablement plongée dans le latex ; celui-ci forme ainsi une couche mince adhérente qui se coagule, sèche et donne une pellicule de caoutchouc. On réitère cette opération un grand nombre de fois puis on fend l'enduit et on le détache de la planchette. On a ainsi une boule de caoutchouc brut.

En Afrique et en Asie, par les anciens procédés, les indigènes se contentent souvent de laisser écouler le latex sur le sol qui absorbe l'excès d'eau tandis que la gomme se coagule peu à



peu sous l'action de l'air ; le produit obtenu contient alors toutes sortes de matières étrangères, débris de bois, insectes, pierres, etc., et est altéré par un commencement de fermentation.

2<sup>o</sup> Procédé des plantations. — On a cherché à améliorer les procédés de récolte et de coagulation en se basant sur des données rationnelles et scientifiques. Le traitement ne se fait plus à l'air libre, mais dans des usines où le latex est d'abord filtré puis coagulé par l'acide acétique après addition d'une petite quantité de formol ou de bisulfite de sodium pour s'opposer à la fermentation.

On obtient ainsi un coagulum qui se présente sous diverses formes selon le mode opératoire, savoir :

*Crêpes*, grandes feuilles assez minces, enroulables, obtenues par passage du coagulum entre deux cylindres sous une pluie d'eau ;

*Sheets*, feuilles plus petites mais plus épaisses, non enroulables obtenues par coagulation du latex dans de grandes cuvettes rectangulaires analogues à celles usitées en photo-

graphie, puis lavage et laminage du coagulum par passage entre des rouleaux à surface gaufrée constamment arrosés d'eau

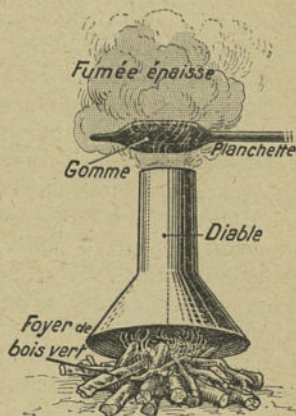


Fig. 411. — Coagulation du latex ; procédé par enfumage.

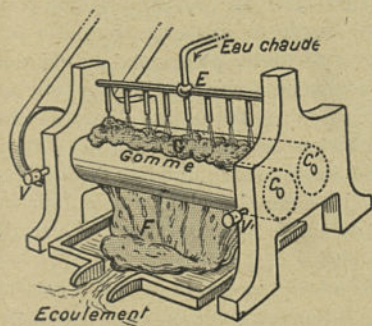


Fig. 412. — Traitement du caoutchouc brut.

Machine à laver et à crêper la gomme (washing and creping machine).

(washing and creping machine, analogue à celle représentée figure 412) ;

*Biscuits*, feuilles préparées surtout à Ceylan et ayant l'apparence des crêpes alimentaires.

Toutes ces variétés, convenablement lavées comme cela a été dit afin d'éviter ultérieurement le développement de moisissures et fermentations, sont étendues sur des claies inclinées et séchées soigneusement à l'obscurité dans des salles bien aérées. Ce séchage dure plusieurs semaines et est parfois suivi d'un enfumage en vue d'assurer l'antisepsie et la conservation intacte de la matière ; c'est en effet à l'enfumage que l'on attribue la qualité et la durée de la gomme de Para.

Pour abréger la durée de cette dessiccation on emploie aussi des étuves où l'on fait le vide, ou bien des salles dans lesquelles on aspire un courant d'air froid ayant passé préalablement sur une substance desséchante, comme le chlorure de calcium  $\text{CaCl}_2$ .

La matière est ensuite emballée et expédiée en Europe en vue du traitement manufacturier. En résumé : extraction du latex, coagulation, lavage, laminage et séchage du coagulum.

**Caoutchouc synthétique, ou caoutchouc artificiel.** — Les chimistes cherchent un procédé pratique pour fabriquer du caoutchouc au moyen de matières premières peu coûteuses. Un corps créé ainsi de toutes pièces par la réunion ou la combinaison de ses éléments constitutifs s'appelle un corps synthétique, et l'opération constitue une synthèse chimique. C'est ainsi que l'on obtient de grandes quantités d'alizarine artificielle (matière colorante rouge), d'indigo synthétique (matière colorante bleue), que seules les plantes nous fournissaient exclusivement autrefois. On prépare aussi un certain nombre de parfums artificiels.

Pour espérer réussir dans une telle voie, la première chose à faire est d'élucider la composition chimique du corps considéré ; or, par l'action de la chaleur, le caoutchouc fournit des produits dénommés *hydrocarbures* parce qu'ils sont constitués uniquement par du carbone uni à de l'hydrogène ; donc le caoutchouc est lui-même un hydrocarbure. Sa formule brute le rapproche des *terpènes* et notamment de l'*isoprène*  $\text{C}_5\text{H}_8$ . En



soumettant cet isoprène à l'action de certains agents physiques ou chimiques, plusieurs molécules de ce gaz arrivent à se souder pour former un corps plus complexe (phénomène dénommé *polymérisation*) ayant les plus grandes analogies de propriétés avec celles du caoutchouc; il suit de là que ce dernier corps est un produit de polymérisation de l'isoprène, ce qui ouvre la voie aux procédés de synthèse. Mais il faudrait pouvoir préparer cet isoprène économiquement en partant de corps autres que le caoutchouc lui-même, sinon le procédé constituerait un cercle vicieux. D'ailleurs le caoutchouc ainsi préparé ne possède pas encore intégralement toutes les propriétés d'élasticité et de bonne tenue que présente le produit naturel, lequel est probablement un mélange de plusieurs isomères.

La question est donc encore ouverte et reste jusqu'ici confinée dans les travaux de laboratoire.

**Caoutchouc factice.** — C'est un mélange composite d'huiles siccatives auquel on incorpore des déchets de gomme, de résines, etc., et que l'on soumet à la vulcanisation. Le *factice*, qu'il ne faut pas confondre avec le caoutchouc synthétique ou artificiel, n'est qu'un substitut, un succédané, un *ersatz* comme diraient les Allemands, et qui ne vaut pas le caoutchouc vrai.

**Propriétés du caoutchouc pur.** — C'est un corps blanc, amorphe et moins dense que l'eau; aussi lui ajoute-t-on généralement des matières dites *de charge* pour le rendre plus lourd et l'empêcher de flotter.

Il est soluble dans un grand nombre de liquides: éther, chloroforme, sulfure de carbone, essences légères provenant de la distillation du pétrole, benzène (vulgairement *benzine*), huiles grasses et essentielles, etc.

La solution dans l'éther ou le chloroforme est précipitée par un excès d'alcool qui amène ainsi la formation d'une émulsion rappelant le latex d'origine. Les meilleurs dissolvants sont constitués soit par du sulfure de carbone, soit par du chloroforme, additionnés de quelques centièmes d'alcool *absolu*, c'est-à-dire anhydre. Cette solution limpide laisse par évaporation une couche très mince de caoutchouc non poisseux. En réalité



la dissolution modifie toujours quelque peu les propriétés de la gomme car il est probable, nous l'avons déjà dit, que celle-ci est formée de deux isomères ayant des façons différentes de se comporter.

Le caoutchouc pur est élastique seulement entre  $+ 10^{\circ}$  et  $+ 35^{\circ}$ , donc dans un intervalle de température peu étendu; en dehors de ces limites, il durcit par le froid ou se ramollit par élévation de température et n'a plus alors de forme déterminée, il devient quasi-fluide et peut se souder à lui-même par simple pression, comme le fer que l'on forge et soude à chaud. A partir de  $180^{\circ}$ , il fond en se décomposant et répandant une odeur désagréable.

Soumis à une grande pression en même temps qu'à une élévation convenable de température ( $110^{\circ}$ - $120^{\circ}$ ) et refroidi, il garde la forme qu'on lui a imposée. Cette importante propriété est utilisée pour le *moulage*. On peut aussi lui faire subir une grande extension en longueur et en surface; si, dans cet état, on vient à le chauffer vers  $115^{\circ}$  il éprouve une sorte de *recuit* en vertu duquel la nouvelle longueur devient acquise c'est-à-dire permanente après refroidissement. On peut ensuite réitérer ce traitement. Si, au contraire, pendant l'étirage on plonge le fil dans l'eau froide, celui-ci perd son élasticité particulière et peut être enroulé docilement sur une bobine, ou tissé, comme un fil de textile ordinaire. Ces propriétés sont mises à profit pour la fabrication de tissus ou de fils très fins.

**Vulcanisation.** — Le caoutchouc a la propriété de se combiner au soufre vers  $140^{\circ}$  pour donner naissance à une nouvelle matière dénommée caoutchouc *vulcanisé*, qui garde sa souplesse et son élasticité dans des limites de température beaucoup plus étendues que le produit naturel<sup>1</sup>; par contre il perd la propriété de se dissoudre et de se souder à lui-même; il faut donc que la vulcanisation suive, et non pas précède, la fabrication des objets manufacturés. Cette combinaison chimique est accompagnée de la formation d'un peu d'hydrogène sulfuré et

1. Cette propriété est à rapprocher de celle qu'a le caoutchouc d'absorber peu à peu l'oxygène de l'air.

est obtenue par divers moyens tels que : incorporation préalable de fleur de soufre ou traitement par des dissolutions convenables de soufre. Quoi qu'il en soit et en tous cas, cet élément soufre ne produit son effet que lorsque la matière a subi, par la suite, la *cuisson* voulue, c'est-à-dire qu'elle a été portée pendant un temps suffisant à la température d'environ 140°.

La proportion de soufre influe beaucoup sur le résultat : cinq à sept centièmes donnent une matière *souple*, tandis qu'une proportion de 25 à 30 pour 100 donne un corps rigide, le *durci* appelé encore *ébonite* lorsqu'il est noir. Dans ces matières le soufre existe sous deux états : 1° combiné chimiquement ; 2° un excès incorporé physiquement que l'on peut enlever en traitant par une solution alcaline, à 100° ou par les dissolvants ordinaires du soufre : sulfure de carbone, benzène, essence de térébenthine, etc.

C'est à la suite de la découverte de la vulcanisation par Goodyear, vers le milieu du siècle dernier, que le caoutchouc a commencé à prendre la grande importance que nous constatons aujourd'hui.

## II. Obtention du caoutchouc épuré ou régénéré.

Le caoutchouc brut, spécialement celui obtenu par les anciens procédés, contient de nombreuses matières étrangères telles que pierres, terre, brindilles, débris divers dont il doit être débarrassé. Cette opération, ou *régénération*, nécessite un traitement coûteux et amène en outre une certaine altération de la résistance primitive de la matière naturelle. Les opérations successives sont les suivantes :

1° Ramollissement et lavage superficiel par immersion et remuement dans de l'eau à 50° contenue dans de grandes cuves chauffées par une circulation de vapeur.

2° Découpage en morceaux de quelques centimètres de côté au moyen d'un couteau droit affilé, ou d'une lame coupante circulaire, l'outil étant constamment arrosé d'eau pour éviter l'échauffement et l'adhérence.

3<sup>o</sup> Ecrasage ayant pour but l'extraction des corps étrangers inclus dans la masse et consistant en un passage des morceaux ramollis précédemment entre des cylindres en fonte de diamètres inégaux CC' tournant avec des vitesses inégales, l'un faisant par exemple un tour par minute et l'autre trois<sup>1</sup>. Il en résulte une sorte d'écrasage et de *laminage* accompagnés d'un *étirage*, à cause des vitesses de rotation différentes. Pendant cette opération, on continue l'aspersion d'un filet d'eau chaude, qui entretient le ramollissement de la gomme G et entraîne les matières étrangères (voir figure 412). On recommence cette

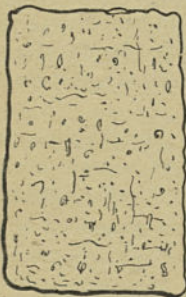


Fig. 413. — Caoutchouc-feuille *ridée*, crépelée et pertuisée.

opération cinq ou six fois ; de cette façon, on voit que chaque parcelle de gomme aura, à un certain moment, occupé une partie de la surface et aura pu être purifiée. De plus, les morceaux se soudeut entre eux et le caoutchouc sort de là sous forme de lames minces perforées F constituant ce qu'on appelle *la feuille ridée*, crépelée et traversée par une infinité de petits trous correspondant chacun à la présence primitive d'une impureté que l'eau a entraînée (voir figure 413).

Dans cet état, le caoutchouc contient 12 à 15 pour 100 d'eau qui doit être éliminée.

4<sup>o</sup> Séchage, ou *ressuyage*, pendant une à deux semaines, soit à l'air libre par suspension sur des cordes métalliques (fer galvanisé) dans un endroit sec et *obscur*, soit dans une étuve chauffée à 35<sup>o</sup>.

Cette dessiccation est indispensable pour éviter toute fermentation dans la période subséquente de repos et d'emmagasinement. La suite des opérations ne comporte plus l'emploi de l'eau, tout se faisant alors à sec.

5<sup>o</sup> Pétrissage, ou *malaxage*, dans un appareil en fonte appelé *diable*, ou *loup*, sorte de cylindre A tournant à l'inté-

<sup>1</sup> Des vis XV<sup>e</sup> permettent de rapprocher plus ou moins les cylindres.



rieur d'une enveloppe B, l'un et l'autre armés de dents en chicanes, de formes variées (voir figure 414). On débute par une

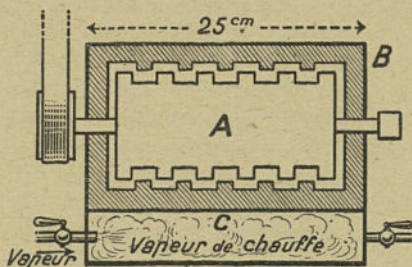


Fig. 414. — Diable, ou loup, pour pétrissage ou malaxage du caoutchouc.

chauffe à la vapeur (qui arrive dans un double fond C); ensuite la chaleur dégagée par le malaxage même fait souder les morceaux de caoutchouc les uns aux autres. Cette agglomération exige une assez grande force motrice; le caoutchouc en ressort sous forme d'une sorte de rouleau ovoïde qu'on abandonne ensuite au repos pendant quelques jours (voir figure 415).



Fig. 415. — Rouleau ovoïde de caoutchouc sortant du loup.

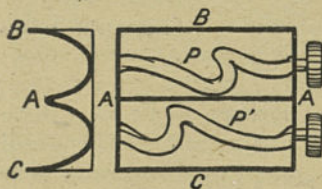


Fig. 416. — Autre système de malaxeur à caoutchouc.

D'autres dispositifs sont usités; par exemple, celui qui consiste dans l'emploi de deux bras gauchis PP' tournant en sens inverses et analogues à ceux des malaxeurs employés pour la confection des pâtes de confiserie ou de panification (voir figure 416).

6<sup>o</sup> Passage au mélangeur, ou cylindrage. Dans un appareil IRIS - LILLIAD - Université Lille

appelé *mélangeur* on effectue le mélange de plusieurs espèces de gommes avec addition des matières dites *de charge* et de la proportion voulue de *fleur de soufre* en vue de la vulcanisation future, soit 5 à 8 pour 100 pour le *souple* et 25 à 30 pour 100 pour le durci. Le mélangeur consiste généralement en deux cylindres creux chauffés intérieurement à 40°-45° par une circulation de vapeur et écartés de quelques centimètres. En répétant ces cylindrages, on obtient une matière compacte et homogène se présentant sous la forme de lames ou *galettes*.

Les matières de charge sont destinées soit à donner au caoutchouc une densité supérieure à celle de l'eau, soit à lui communiquer une coloration appropriée ; les plus employées sont le sulfate de baryte ( $\text{SO}^+\text{Ba}$ ) qui donne la densité et la coloration blanche, le vermillon ou le minium pour le rouge. L'outremer artificiel ou le bleu de Prusse pour le bleu, le vert Guignet pour le vert, l'ocre et le jaune de chrome pour le jaune, le noir de fumée pour le noir. Certaines de ces matières, surtout le sulfate de baryte, abaissent en outre le prix de revient du produit. Quant au soufre, rappelons qu'il ne produira son effet de vulcanisation que plus tard, lorsque l'objet, déjà amené à la forme voulue, aura subi la *cuisson* à une température voisine de 140° et pendant une durée convenable.

Les galettes sont ensuite transformées en deux types généraux de formes qui constituent en quelque sorte la matière première au second degré d'où sortira toute la fabrication ; ces formes transitoires sont :

1° Les *blocs*, ou feuilles épaisses obtenues par moulage ;

2° Les *feuilles minces* obtenues par calandrage, ou autrement et qui sont la forme la plus fréquente en vue de l'utilisation ultérieure.

**Formes transitoires.** — 1° **Blocage.** — Le caoutchouc chauffé vers 110°-120° et moulé par pression puis refroidi conserve, une fois revenu à la température ordinaire, la forme qu'on lui avait imposée pendant l'application de la chaleur et de la pression. On introduit donc les galettes superposées, chaudes et molles, livrées par le cylindrage, dans des moules en fonte *talqués* (pour éviter l'adhérence), et on les soumet à chaud à

l'action d'une pression de 300 atmosphères produite par une presse hydraulique, et ceci pendant un temps prolongé, une semaine environ. Sous cette double influence, les lames adhèrent entre elles et forment un tout homogène. On démoule et on abandonne les blocs au repos dans un endroit frais pendant plusieurs mois, afin de leur laisser reprendre leur équilibre moléculaire troublé par les opérations énergiques précédentes. On a ainsi le caoutchouc dit *bloqué*.

2° Feuilles. — Elles peuvent s'obtenir par trois procédés différents, d'où autant de catégories de feuilles : (A) feuilles laminées; (B) feuilles sciées ou anglaises; (C) feuilles relevées.

(A) *Feuilles laminées*. — On part soit des rouleaux fournis par le loup, soit des galettes issues du pétrisseur à cylindres, soit enfin des sortes livrées pures par les usines de coagulation des pays de plantation. Les opérations se font à chaud et sont les suivantes :

a) Étuvage pour ramollissement;

b) Calandrage progressif ou *laminage*. Une calandre est un appareil consistant en un système de cylindres creux en acier,

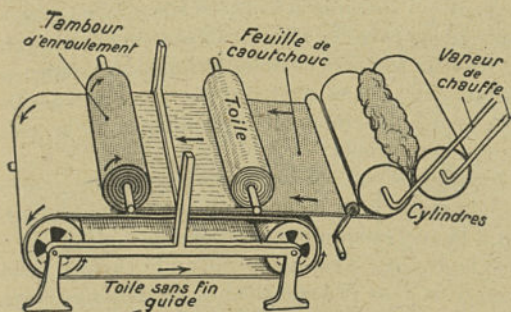


Fig. 417. — Laminage du caoutchouc.

chauffés intérieurement à 100° par une circulation de vapeur, disposés parallèlement de façon à ne laisser entre eux qu'un faible intervalle *réglable*, et pouvant tourner en sens contraires absolument comme les laminoirs usités en métallurgie (voir



fig. 417). Si l'on vient à introduire dans l'intervalle une matière plastique, celle-ci est obligée de se déformer, de se mouler sur l'orifice de sortie et se transforme en une lame dont l'épaisseur peut varier de  $1/2$  millimètre à 2 centimètres par suite de la possibilité de rapprocher ou d'écarter tous ensemble, au moyen de vis de réglage, les cylindres au nombre de quatre, six, huit..., superposés, entre lesquels circule successivement la feuille à produire. Ces cylindres doivent être amenés par le travail au tour à un diamètre rigoureusement uniforme, avoir leurs axes absolument parallèles et pouvoir être animés de vitesses fort lentes *exactement égales*, pour éviter tout effet d'étirage; et puis il ne doit exister aucun jeu dans les engrenages sinon la feuille présenterait, à ce moment-là, une irrégularité. Il en résulte que ces machines doivent être très précises et, en même temps, robustes, aussi leur prix est-il fort élevé et atteint facilement 80 000 francs et plus.

La feuille molle et collante, une fois sortie des cylindres, est coupée sur ses bords et est reçue soit dans l'eau froide additionnée de potasse, soit sur un tambour d'enroulement talqué, ou bien vient se poser sur une toile sans fin animée d'un mouvement qui entraîne la feuille; celle-ci vient ensuite passer sous un rouleau garni de toile de calicot qui chemine alors avec elle, et les deux surfaces flexibles viennent s'enrouler ensemble sur un tambour. On se rend compte que l'interposition de ce calicot a pour but d'empêcher le caoutchouc de se coller à lui-même une fois enroulé.

(B) *Feuilles sciées*, encore appelées *feuilles anglaises*. — On part du caoutchouc bloqué, cubique ou cylindrique que l'on soumet à la succession des opérations suivantes :

a) On le *dégèle*, c'est-à-dire qu'on le chauffe pendant une heure ou deux dans de l'eau chaude, ou dans une étuve, afin de le ramollir un peu.

b) *Sciage* ou *découpage* par une lame d'acier à mouvement alternatif ou circulaire constamment arrosée d'eau froide pour éviter les adhérences. Le bloc cylindrique tourne autour de son axe et avance parallèlement (voir fig. 418).

c) Arrosage ou mouillage des feuilles avec une dissolution

faible de savon ou de soude pour empêcher leur adhérence. Le talc peut aussi être employé, mais il ôte à la feuille une partie de sa translucidité.

(C) *Feuilles levées ou relevées.*— On prépare des pellicules extrêmement minces, impossibles à obtenir avec la feuille laminée (calandrée) ou sciée, en appliquant sur une surface unie reposant sur une table chaude une couche de dissolution de caoutchouc; après évaporation du dissolvant, il reste sur le support une lame transparente d'épaisseur très faible; en répétant cette opération on peut superposer assez de couches soudées les unes aux autres pour obtenir l'épaisseur désirée; il faudra, par exemple, une quarantaine de ces couches pour arriver à faire un millimètre.

La dissolution s'obtiendra en mettant en contact une partie de caoutchouc avec cinq, six parties ou plus de sulfure de carbone additionné d'un peu d'alcool absolu; on peut employer aussi les essences légères du pétrole ou de térébenthine; la matière subit d'abord une sorte de gonflement; ensuite on broie et on malaxe pour obtenir l'homogénéité.

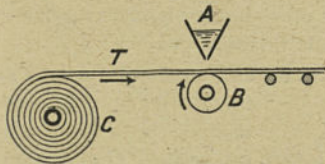


Fig. 419. — Obtention du caoutchouc sous forme de feuilles très minces dites feuilles levées, ou relevées.

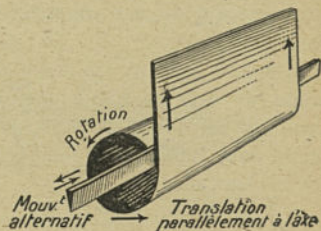


Fig. 418. — Sciage du caoutchouc pour en former des feuilles.

Cette dissolution s'écoule d'une sorte d'auge A (fig. 419) sur une toile T, chauffée par dessous, soutenue par un rouleau B et se déroulant progressivement d'un tambour C. Pour que la face inférieure ait le même aspect uni que la supérieure, la toile T est préalablement talquée ou recouverte d'un enduit composé



de colle de pâte et de peau additionnée d'un peu de mélasse. L'enlèvement de la pellicule se fait ensuite aisément après l'évaporation du dissolvant qui ne doit pas être trop rapide, afin d'éviter la condensation sur la feuille de l'humidité atmosphérique, d'où résulterait un manque de régularité et d'aspect.

Il existe des dispositifs de récupération du dissolvant par condensation de ses vapeurs sur des surfaces réfrigérantes appropriées.

Disons en passant que la *glu marine* consiste dans une dissolution de gomme laque dans une dissolution de caoutchouc. Cette glu est solide à froid, fond vers 120° et est utilisée à chaud pour réunir très fortement des pièces de bois, calfates des navires, etc.

### III. Caoutchouc manufacturé. — Fabrication de divers articles.

Les blocs et les feuilles sont utilisables tels quels pour un certain nombre d'usages mais, le plus souvent, ils servent eux-mêmes de point de départ pour la fabrication d'articles de formes variées : tuyaux, fils, tissus, courroies, rondelles, câbles, bouchons pour la chimie, etc. Nous allons donner quelques indications sommaires sur ces procédés spéciaux de fabrication ainsi que sur les divers modes de vulcanisation.

**Tuyaux.** — 1° Les petits tuyaux sont fabriqués d'une

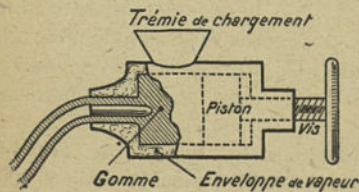


Fig. 420. — Fabrication des très petits tuyaux de caoutchouc.

trouve une tige d'épaisseur égale au diamètre intérieur que

façon analogue au macaroni, en mettant une masse de gomme chaude et ramollie dans le cylindre d'une presse à filière, genre vermicellière ; c'est-à-dire que le fond du cylindre est perforé et est prolongé par un ajutage cylindrique dans l'axe duquel se



doit avoir le tuyau (voir fig. 420). Le cylindre est chauffé à  $115^{\circ}$  par une circulation de vapeur dans une enveloppe qui lui est concentrique, et un piston force la gomme à sortir par l'orifice annulaire; ce passage est assez lent et la gomme éprouve une sorte de cuisson qui lui fait conserver la forme qu'elle a prise. Les tuyaux tombent ensuite sur une plate-forme tournante où ils se lovent, c'est-à-dire se disposent en spirale, avec interposition de talc.

2<sup>o</sup> Pour les tuyaux d'un diamètre supérieur à 5 millimètres on

procède par enroulement sur une âme intérieure, ou tringle talquée jouant le rôle de mandrin, d'une bande de feuille laminée ou sciée dont on soude les bords par la pression d'une molette en fer qu'on promène sur la suture (voir fig. 421). Les bords qui, par leur rapprochement, formeront cette suture doivent être coupés par des ciseaux intacts et obliquement sous un angle de  $45^{\circ}$ , comme le montre la figure 422 de façon que l'action de la molette ait bien pour effet d'appuyer les deux lèvres l'une contre l'autre.

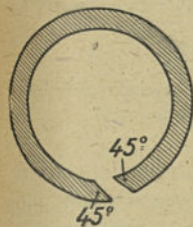


Fig. 422. — Fabrication des tuyaux de caoutchouc : mode d'entailage des bords en bisseau.

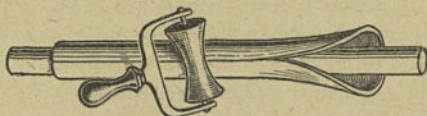


Fig. 421. — Fabrication des tuyaux de caoutchouc : passage de la molette.

Par-dessus cette première robe en caoutchouc on en enroule une seconde en toile caoutchoutée (bandes de toile coupées obliquement dans le tissu pour donner plus de résistance) rendue adhérente par l'interposition d'une dissolution de caoutchouc, puis au-dessus, une robe en caoutchouc, encore un entoilage et ainsi de suite plusieurs fois, en comprimant après l'apposition de chaque couche. Finalement, en vue de la vulcanisation future et pour empêcher la déformation ultérieure qui en résulterait, le tuyau est emmaillotté serré dans des bandes de toile enroulées obliquement et qui

doivent servir de soutien. Cette opération s'effectue simplement de la manière suivante :

a) Enroulement de la bande de toile autour du tuyau toujours muni de son âme métallique ;

b) Mise en place sur une longue table et communication d'un mouvement de rotation au moyen d'un arbre mù par un renvoi de transmission (voir fig. 423). Dans ce mouvement rotatif, le tuyau T frotte contre les cales C, C', C''... fixées contre lui, ce qui produit automatiquement le serrage de la toile. Le tuyau est alors prêt pour la vulcanisation. Celle-ci une fois terminée, on retirera les bandelettes de toile et la tige centrale.

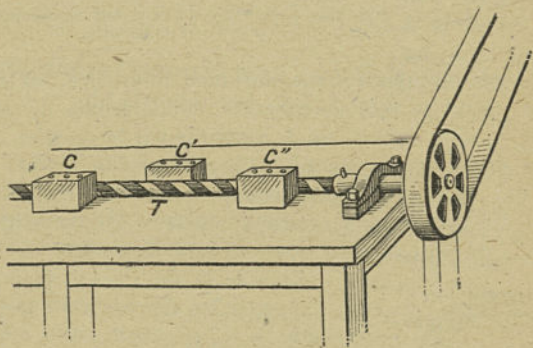


Fig. 423. — Fabrication des tuyaux de caoutchouc. Enrobage et renforcement au moyen de bandes de toile caoutchoutée.

La pâte destinée à la fabrication des feuilles pour tuyaux se compose ordinairement de 60 pour 100 de caoutchouc pur, 34 pour 100 d'oxyde de zinc ( $ZnO$ ), 5 de soufre et 1 de chaux.

Les tuyaux ainsi fabriqués peuvent servir pour le *refoulement* des fluides ; mais ceux qui doivent faire l'*aspiration* et qui, par conséquent, sont destinés à subir l'action d'un vide partiel à leur intérieur et supporter la compression de l'atmosphère extérieure, doivent être soutenus intérieurement par une armature hélicoïdale en métal enroulée sur la tige centrale et recouverte ensuite à la manière ordinaire (fig. 424).

Les tuyaux de chimie sont fabriqués généralement avec de la feuille sciée, ou feuille anglaise, en para pur et homogène.

**Fils de caoutchouc.** — On distingue, suivant les procédés de fabrication :

- Fils carrés, ou coupés dans la masse ;
- Fils ronds, ou filés ;
- Fils étirés très fins, obtenus par étirage.

(a) **Fils carrés, ou coupés.** — Principe. Le bloc de caoutchouc, amené préalablement à la forme d'un disque C, est coupé sur son pourtour par une scie circulaire S très affilée (fig. 425), constamment arrosée d'eau et tournant à une grande vitesse (25 à 30 tours-seconde). Le ruban R, une fois détaché, contourne un galet G, tandis qu'un dispositif *ad hoc* DD' fait avancer lentement le disque C vers le tranchant de l'outil et le fait, en même temps, tourner sur lui-même de plus en plus vite, ce qui est nécessaire pour lui conserver la même vitesse linéaire (ou circumférentielle) de débit (longueur coupée par unité de temps), malgré la diminution progressive du rayon du disque. Ensuite les rubans sont refendus longitudinalement de ma-

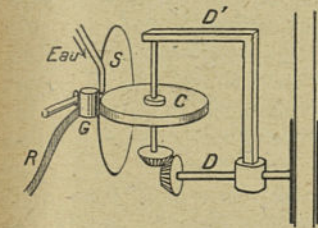


Fig. 425. — Fabrication des fils carrés de caoutchouc, par sciage d'un disque. Obtention des rubans.

Ensuite les rubans sont refendus longitudinalement de ma-



Fig. 424. — Tuyau de caoutchouc pour le vide ; armature métallique hélicoïdale.

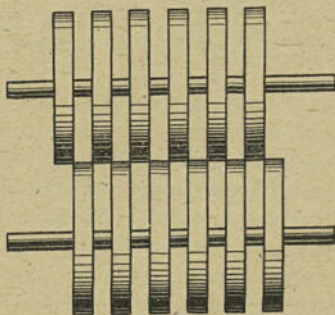


Fig. 426. — Découpage des rubans précédents par une fenderie : obtention des fils carrés.



nière à les transformer en fils. L'outil employé est une *fendrière* (comme pour les lames de fer, en métallurgie), et se compose de deux séries d'une demi-douzaine de lames circulaires, montées sur deux axes parallèles; les bords de ces disques sont à angles droits bien vifs et pénètrent dans les intervalles formés par les lames de l'autre série (voir fig. 426), le ruban est engagé entre les deux séries et ressort sectionné en multiples fils.

Un autre procédé très rapide (procédé G. Gérard) consiste à découper d'un coup 200 à 250 fils dans une feuille de caoutchouc que l'on présente à l'action simultanée d'un nombre égal de petites lames coupantes circulaires montées sur un même axe animé d'un rapide mouvement de rotation (voir fig. 427). La feuille, constamment arrosée, est engagée entre les lames et

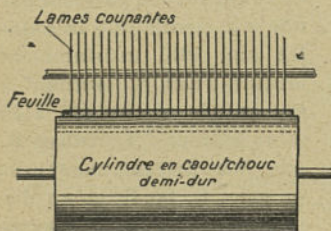


Fig. 427. — Procédé G. Gérard pour l'obtention rapide des fils de caoutchouc, par l'action d'un système de lames coupantes sur une feuille.

le cylindre-support inférieur en ébonite; elle en ressort découpée en autant de fils qu'on lave dans une solution tiède de potasse pour l'adoucir, puis dans l'eau ordinaire; on sèche ensuite. Ces fils servent comme chaîne pour la confection de tissus et cela d'autant plus facilement qu'ils sont tous réunis à une extrémité commune de la lame que l'on n'a pas

incisée jusqu'au bout.

(b) **Fils ronds, ou filés.** — Principe. Le caoutchouc en dissolution épaisse est poussé dans une filière analogue à une vermicellière. On dissout le caoutchouc pur dans 1 partie 1/2 à 2 parties de sulfure de carbone ou de benzine additionné de cinq à six pour cent d'alcool absolu, ce qui aboutit à la formation, au bout de quelques jours, d'une pâte fluide capable de passer à travers les trous de la filière; absolument comme du vermicelle (figure 428). La pâte est contenue dans le cylindre C et est poussée par le piston P actionné par une presse hydrau-

lique, elle ressort sous forme de filaments qui sont reçus sur une bande mobile de velours sans fin VV, laquelle les déverse ensuite dans de l'eau froide E. Les fils sont séchés sur une toile sans fin puis *bobinés*.

Ce bobinage est absolument nécessaire en vue du tissage, ce qui ne peut se faire qu'après que le caoutchouc en fil a été privé provisoirement de son élasticité spéciale ; le principe est le suivant, basé sur une des propriétés particulières du caoutchouc dont il a été question antérieurement et qui consiste en ceci : étirons un fil de caoutchouc et, dans cet état contraint, plongeons-le dans un bain très froid en le maintenant tendu, il perd alors son élasticité caractéristique et peut être bobiné et tissé comme un fil textile ordinaire. Dans la pratique, l'ouvrier attache une des extrémités de ce fil à un point déterminé d'un *dévidoir* et met celui-ci en mouvement ; en même temps, il serre le fil qu'il a eu soin d'humecter pour faciliter le glissement entre ses doigts, de sorte que l'enroulement sur le dévidoir est accompagné d'un *étirement* notable pouvant aller jusqu'à sept ou huit fois la longueur primitive. Une fois ceci fait, le dévidoir, avec son fil enroulé et tendu, est abandonné pendant deux jours dans une cave très fraîche où le fil perd sa faculté de réagir ; il peut alors être *relevé*, comme l'on dit, c'est-à-dire enlevé du dévidoir et bobiné en vue du tissage. Ensuite, une fois le tissu confectionné, on lui restitue son élasticité en le soumettant à un recuit à la température de 65°-70°, par exemple en passant un fer chaud sur l'étoffe.

(c) **Fils étirés.** — Pour obtenir des fils extra-fins on emploie un autre procédé de G. Gérard, basé sur la propriété suivante. Soit un fil de caoutchouc de 10 centimètres de longueur ; étirons-le jusqu'à l'amener à 50 centimètres et, ainsi tendu, soumettons-le à l'action d'une température de 115° (étuve à vapeur sous pression, ou eau surchauffée grâce à la présence de sels métalliques dissous) ; le fil, laissé quelque temps dans ce milieu, éprouve une sorte de recuit et la nouvelle longueur de 50 centimètres est acquise, c'est-à-dire reste telle après retour à la température ordinaire. On peut ensuite réité-

rer ce même traitement et obtenir ainsi des fils d'une ténuité extrême.

**Tissus de caoutchouc.** — On peut tisser les fils de caoutchouc à la condition de leur avoir fait subir préalablement l'opération décrite au paragraphe (a), laquelle consiste à les dépouiller momentanément de leur réactivité élastique. On les enrobe généralement de coton ou de soie<sup>1</sup>, par un procédé analogue à celui mis en œuvre dans les métiers de passementerie et dont la figure 429 donne une représentation schématique; tandis que le fil de caoutchouc progresse longitudinalement suivant l'axe de la bobine B, dans le sens ff, le fil de coton ou de soie entourant B se déroule en passant dans les œillets du *barbin* C, dans le sens ff' et vient revêtir le caoutchouc; la bobine B tourne sur elle-même dans le sens F.

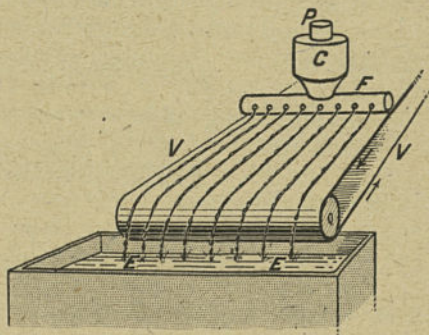


Fig. 428. — Obtention des fils ronds par *filage* d'une pâte fluide de caoutchouc.

Tous ces mouvements doivent être rigoureusement réglés et donnent lieu à des études mécaniques et cinématiques très précises. Le tissage se fait par les procédés habituels, car le fil

1. Pour éviter l'adhérence due à l'échauffement provoqué par les lames du peigne du métier.



n'est plus élastique ; le caoutchouc forme la chaîne tandis que la trame est de coton ou de soie.

Une fois le tissu fabriqué, on le soumet à l'action d'une température de 60°-70° au moyen, par exemple, d'un fer chaud qui lui fait reprendre toute son élasticité et resserre la maille laissée au préalable un peu lâche, de sorte que le tissu est extensible en longueur.

**Imperméables.** — Ce sont des tissus ou des étoffes imperméabilisés par la présence d'une mince couche de gomme. Deux procédés peuvent être employés :

1° Par le dépôt d'une couche de dissolution et passage subséquent de l'étoffe sur une table chauffée à la vapeur, de façon à provoquer l'évaporation du dissolvant ;

2° Par l'application ou l'interposition d'une lame mince chaude et collante de caoutchouc (tissus simples, tissus doubles). On remplace, autant que possible, les coutures par des collages à la dissolution de caoutchouc.

**Courroies.** — On fabrique des courroies en caoutchouc doublées toile et cousues, imprégnées de dissolution puis vulcanisées, alors plus d'agrafes saillantes ; par suite disparition des irrégularités dans la marche des dynamos génératrices et des soubresauts de lumière qui en résultent.

**Rondelles.** — Les rondelles en caoutchouc qui servent à fermer hermétiquement les bouteilles de bière sont découpées à l'aide de machines spéciales dans des tuyaux d'épaisseur voulue, préalablement vulcanisés.

**Câbles pour l'électricité.** — Opérations : 1° découpage de la feuille laminée en minces lanières ; 2° enroulement de celles-ci en hélices à plusieurs couches croisées ; 3° enroulement de bandes de toile en sens inverses pour maintenir les premières ; 4° vulcanisation à l'étuve.

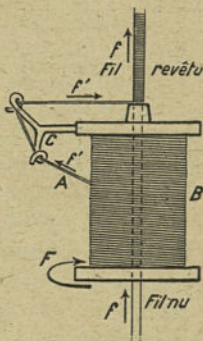


Fig. 429. — Enrobage des fils de caoutchouc avec de la soie ou du coton, en vue du tissage.

**Bouchons.** — On les découpe à l'emporte-pièce dans une plaque de caoutchouc ayant l'épaisseur voulue. L'outil est un tube d'acier à bords tranchants T, en mouvement constant de rotation et qui peut être manœuvré, élevé, abaissé par un enfant agissant sur le levier L (figure 430).

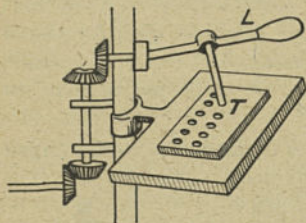


Fig. 430. — Fabrication des bouchons de caoutchouc.

On fabrique aussi, pour la chimie, un grand nombre de bouchons, imprimés d'une marque, par les procédés de

moulage indiqués un peu plus loin.

**Tapis.** — On fabrique, avec des feuilles de caoutchouc, des tapis ornés de dessins soit en relief et exécutés alors à la presse, soit à jour au moyen de l'emporte-pièce.

**Moules à chapeau** ou **formes**, obtenus par moulage (voir ci-après) et renforcés à la main au moyen de petites bandes de caoutchouc.

**Chaussures.** — On emploie une dissolution de caoutchouc spéciale pour cacher les coutures autour des semelles (ce qui s'appelle « fermer les gravures » en style de métier), pour apprêter les *tiges*, pour *souder* des pièces invisibles aux chaussures usagées, etc., enfin on fait en caoutchouc des rondelles pour talons.

**Plumes pour parure.** — Il y a à Paris un nombre considérable d'ouvrières occupées au montage des plumes et qui emploient une dissolution de caoutchouc dans la benzine ou l'essence de pétrole, ou d'autres solvants moins inflammables.

**Ebonite.** — Caoutchouc vulcanisé contenant une très forte proportion, 25 à 30 pour 100, de soufre et de matière colorante noire (noir de fumée). Cette substance est susceptible de prendre un beau poli, elle se taille et tourne facilement et sert à fabriquer une multitude d'objets, d'articles de Paris, des pipes, des montures d'optique, des manches pour couverts de table, des

**Moulage et vulcanisation.** — La question du moulage est intimement liée à celle de la vulcanisation, mais l'inverse n'est pas nécessairement vrai, car l'incorporation du soufre peut se faire sur des objets fabriqués sans le concours du moulage. Il y a donc lieu d'étudier d'abord la vulcanisation en elle-même.

**A. Généralités sur la vulcanisation.** — Il y a lieu de distinguer deux choses différentes dans cette question : 1<sup>o</sup> le mode de chauffage, ou *cuisson* ; 2<sup>o</sup> le mode d'introduction du soufre.

1<sup>o</sup> *Modes de cuisson.* — Première méthode. L'objet préalablement sulfuré est placé dans un *autoclave*, ou récipient en tôle complètement clos, dans lequel on fait arriver directement de la vapeur d'eau qui agit ainsi comme agent de chauffage par contact.

Deuxième méthode. L'autoclave contenant les objets manufacturés est chauffé soit extérieurement par un foyer, soit intérieurement par une circulation de vapeur *dans des tubes*. Dans ces deux cas c'est l'air de l'autoclave qui est l'agent immédiat de chauffage par contact.

Troisième méthode. L'objet préalablement sulfuré est chauffé dans des moules sous pression. Le chauffage résultant soit de l'immersion du moule dans une cuve à eau surchauffée, soit dans une étuve ou autoclave à vapeur ou à air chaud, soit enfin par contact avec des plateaux de presse hydrauliques chauffés (voir plus loin *pneumatiques*).

Quatrième méthode. Par sulfuration et cuisson combinées (voir plus loin : procédé Hancock).

Résumons en un tableau.

Méthodes de cuisson.	{	1 <sup>re</sup> méthode. Autoclave à vapeur directe.
		2 <sup>o</sup> — — à air chaud (tubes de vapeur).
		3 <sup>o</sup> — Chauffage sous pression. Moulage.
		4 <sup>o</sup> — Mixte. Sulfuration et cuisson combinés.

Quelle que soit la méthode employée, la température doit s'élever jusqu'au voisinage de 140° environ.

2<sup>o</sup> *Modes de sulfuration.* — Très nombreux.



1<sup>o</sup> *Procédé Goodyear* qui est le plus employé. On mélange la gomme à la proportion exacte de soufre en fleur, dans le mélangeur ou malaxeur à cylindres lisses, à vitesses et rayons différents. Il en résulte une pâte plastique à laquelle on donne la forme voulue par le moulage. Ensuite, cuisson. L'adjonction de magnésie  $MgO$  ou de blanc de zinc ( $ZnO$ ) facilite la vulcanisation et est usitée notamment pour la fabrication des pneumatiques (voir plus loin).

2<sup>o</sup> *Procédé Hancock*, par immersion directe de l'objet dans un bain de soufre liquide. Opérations : (a) étuvage des objets façonnés pendant un ou deux jours pour enlever toute trace d'humidité (condition indispensable de réussite); (b) Immersion dans un bain de soufre liquide à  $130^{\circ}$ - $135^{\circ}$  pendant deux à trois heures; le caoutchouc absorbe le soufre et devient orangé, et, souvent, il se dégage de l'hydrogène sulfuré qui occasionne des soufflures dans les objets. On suit la marche de l'opération au moyen de *témoins*, c'est-à-dire de petits morceaux du même caoutchouc suspendus par des fils et qu'on retire de temps à autre; (c) on retire les objets et on les plonge dans l'eau froide qui permet d'enlever facilement l'excès de soufre qui les recouvre.

La vulcanisation ainsi produite est peu homogène; il y a des irrégularités.

3<sup>o</sup> *Procédé Parkes*. Consiste à immerger l'objet dans un liquide mixte homogène formé par du sulfure de carbone dans lequel on a dissous du *chlorure de soufre* ( $S^2Cl^2$ ); les proportions sont approximativement de 1 partie de ce dernier corps — qui est l'agent de sulfuration — avec 40 à 50 parties de sulfure de carbone. On opère l'immersion à froid, c'est-à-dire à la température ordinaire, et on lui donne une durée d'environ 2 minutes pour une pièce de 1 millimètre d'épaisseur. Ensuite, on suspend les objets dans une pièce chauffée à  $26^{\circ}$  de façon à provoquer l'évaporation du sulfure de carbone; enfin on termine par un lavage à grande eau suivi d'un séchage.

Pour les pièces plus épaisses, il faut prolonger le contact et porter ensuite dans l'eau froide qui s'oppose à la volatisation du dissolvant et lui permet de pénétrer dans toute la masse.

Avantages de ce procédé : promptitude, régularité. Inconvénients : réaction acide de l'objet au bout d'un certain temps, ce qui le rend dur et cassant.

On a proposé aussi un mélange de soufre et de chlorure de chaux  $\text{CaOCl}_2$  qui produit du chlorure de soufre.

Le procédé Parkes est surtout intéressant pour les objets de peu d'épaisseur, comme les étoffes imperméables, et il vulcanise alors parfaitement. La figure 431 représente schématiquement

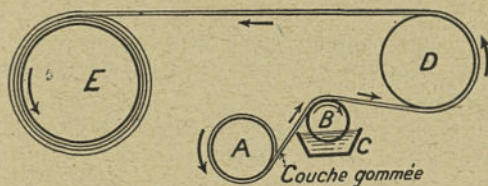


Fig. 431. — Vulcanisation des tissus caoutchoutés, par le procédé Parkes.

la vulcanisation des imperméables. Le tissu (couche gommée en dehors) se déroule du tambour A et passe sur un rouleau B tournant dans une auge C contenant la dissolution sulfurante dont il se pénètre ; de là, le tissu passe sur un tambour de renvoi D et, après un assez long intervalle pour laisser au dissolvant ( $\text{CS}_2$ ) le temps de s'évaporer, il vient s'enrouler sur le tambour E.

4<sup>o</sup> **Procédé Burke.** — On emploie le sulfure d'antimoine précipité. Peu usité, ainsi qu'un grand nombre d'autres.

(B) **Moulage.** — Nous distinguerons deux cas selon qu'il s'agit de fabriquer un objet plein ou bien un objet creux.

1<sup>o</sup> **Objets pleins.** — Soit, par exemple, une balle à jouer pleine, ou tout autre objet. Les opérations successives sont les suivantes :

a) On ramollit par la chaleur le caoutchouc dans lequel la dose nécessaire de soufre est déjà incorporée ; on part soit des blocs, soit de la feuille, soit enfin du *râpé* obtenu en pressant un bloc de caoutchouc contre une râpe mobile constituée par un



cylindre de tôle perforée dont les ébarbures dépassent vers l'extérieur; ce cylindre rugueux, en tournant contre le caoutchouc, amène celui-ci à l'état de pulpe molle.

b) Introduction de la pâte dans un moule métallique chaud démontable et dont les diverses parties peuvent être serrées par des vis de pression, des brides, des étriers, des écrous à oreilles... Il se forme alors, dans les jointures, un bourrelet initial que l'on fait disparaître en desserrant le système et changeant la boule de place dans le moule, puis remontant et resserrant.

c) Après avoir maintenu le chauffage quel que temps (étuve, autoclave, etc.), on laisse refroidir progressivement pendant une douzaine d'heures.

d) On démoule et l'on en sort une boule dure peu élastique.

e) Alors, *revenu* ou réchauffé dans une étuve ou dans l'eau à 50° pendant une heure environ, puis refroidissement lent; le caoutchouc recouvre ainsi son élasticité douce.

On fabriquerait de même une tête de poupée pleine, un

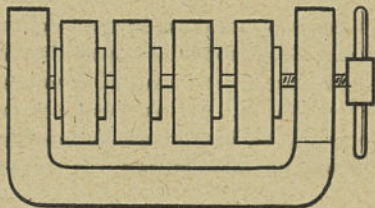


Fig. 432. — Vulcanisation des grosses rondelles de caoutchouc pour tampons des wagons de chemins de fer.

timbre pour imprimer soi-même une vignette avec lettres ou ornements; on se sert, non pas d'une encre grasse qui altérerait le caoutchouc, mais d'une solution colorante aqueuse très chargée en glycérine pour l'empêcher de se dessécher et dont on imbibe un tampon.

Prenons encore un exemple : la fabrication des grosses rondelles percées d'un trou central qui servent à atténuer les



secousses dans les tampons des wagons de chemin de fer. La pâte molle est introduite dans des cavités cylindriques formant moules que l'on réunit ensuite par trois ou quatre et que l'on maintient par une vis de pression (fig. 432). On porte ensuite dans l'autoclave et, après refroidissement, on en sort les rondelles. Les grandes administrations (marine, chemins de fer...) exigent diverses conditions de composition et de résistance. La matière doit être formée de 96 % de para, ou de gomme pure, 3 % de soufre bien incorporé par combinaison intégrale et 1 % ou plus d'impuretés. En ce qui concerne la résistance, on procède à des essais à la presse hydraulique poussée jusqu'à la pression de 8000 kg-cm<sup>2</sup>; dans ces conditions, l'épaisseur doit être réduite au 1/3, ni moins, ni plus, et les rondelles de tampons doivent ensuite reprendre leur épaisseur primitive au bout de quelque temps, sans présenter aucune déformation, fentes, gerçures, etc.

Les tuyaux de freins Westinghouse sont de même contrôlés par injection de glycérine refoulée par un piston et faisant monter la pression intérieure jusqu'à 50 kg-cm<sup>2</sup>, indiquée par un manomètre.

2° **Objets creux.** — La pression peut intervenir de deux façons différentes selon son sens, qui peut aller soit de l'intérieur à l'extérieur (sens centrifuge), comme dans le moulage des bouteilles de verre, soit dans le sens opposé (centripète).

Considérons d'abord le premier cas, celui de la pression de sens centrifuge, allant donc de l'intérieur à l'extérieur; nous prendrons comme exemple la fabrication d'une balle creuse, d'une tête de poupée, de petits animaux, etc.

a) La matière de départ est la *feuille* de caoutchouc que l'on découpe suivant des patrons tracés d'avance selon la forme de l'objet; ainsi, s'il s'agit d'une balle, on coupera quatre segments (question de développement géométrique) analogues à ce que l'on obtiendrait avec la peau d'une orange.

b) Les bords, qu'on a eu soin de couper en biseau, sont soudés, soit par simple pression entre les doigts, soit au moyen d'une dissolution de caoutchouc additionnée de soufre.

c) On introduit cette balle *flasque* dans un moule métallique

composé de deux parties jointives, ou *coquilles*, et un peu plus petit que la balle définitive (condition nécessaire pour que cette balle reste gonflée, une fois terminée).

d) Étuvage. L'air, sous l'action de la chaleur, tend à se dilater mais, comme il en est empêché par le moule, il prend une pression plus grande qui a pour effet d'appliquer la membrane de caoutchouc contre les coquilles et de lui donner la forme sphérique.

e) Refroidissement lent ; démoulage. La pression intérieure est un peu plus forte que celle de l'atmosphère et maintient la forme acquise.

**Pneumatiques.** — Ces objets nous fournissent un exemple important du second cas, celui où la pression agit dans le sens centripète.

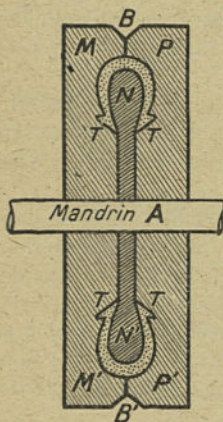


Fig. 433. — Fabrication d'un pneumatique d'automobile.

Comme l'on sait, la jante des roues d'automobiles, et de bicyclettes est garnie d'un bourrelet flexible et élastique comprenant au centre un tube mince et extensible, gonflé d'air sous pression, appelé précisément *chambre à air* ; autour de ce tube, le protégeant et l'empêchant d'éclater sous la pression, se trouve une garniture en caoutchouc un peu dur appelé *l'enveloppe* ; celle-ci, à son tour, est renforcée à sa périphérie par une couche encore plus résistante appelé *croissant*, collée à la dissolution sur l'enveloppe. Tout cet ensemble constitue le *pneumatique* et est fixé à la jante de la roue par des sortes de rebords appelés les *talons* du pneumatique.

L'enveloppe constitue un corps creux obtenu par moulage. Le moule, comme toujours dans ce cas, se compose de deux pièces : 1<sup>o</sup> celle qui doit donner la forme intérieure : c'est le *noyau NN'* (fig. 433) en métal et ayant l'aspect d'un tore ; 2<sup>o</sup> celle qui servira à contenir le tout, noyau et enveloppe, et à



donner la forme extérieure voulue ; cette deuxième pièce se compose de deux plaques MM' et PP', parallélépipédiques extérieurement, creusées chacune intérieurement d'une *gorge* ou cavité circulaire, de sorte qu'après réunion des deux parties MM' et PP' suivant la ligne BB', il restera entre les deux pièces interne et externe du moule un intervalle qui sera occupé par le caoutchouc.

Ceci posé, l'artisan installe le noyau NN' sur un arbre, ou mandrin horizontal A, pour la commodité de son travail, de façon à pouvoir faire tourner le tore autour de cet axe et le garnir de caoutchouc. Comme matière première, on part de la *feuille* que l'on découpe en morceaux de longueur appropriée et que l'on enroule sur le noyau avec interposition de bandes de toile gommée (caoutchoutée)<sup>1</sup>. On superpose ainsi un nombre

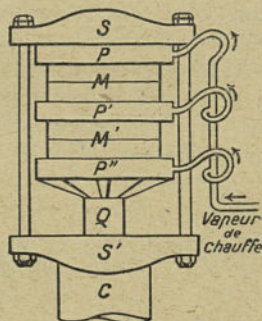


Fig. 434. — Vulcanisation (cuisson) des pneumatiques par la presse hydraulique, à chaud.

suffisant de bandes de toile et de gomme, puis on enferme le noyau, revêtu de son enrobage, entre les deux gorges des parties extérieures MM' et PP' du moule qui l'enserment alors hermétiquement, et l'on procède à la cuisson soit dans des autoclaves,

1. Les *talons* TTTT sont garnis d'une variété de gomme plus dure et plus résistante.



soit entre les plateaux chauffés d'une presse hydraulique à chaud, comme le représente la figure 434; C est le corps de pompe de la presse, Q le piston, S et S' les sommiers supérieur et inférieur; M et M' sont deux moules renfermant chacun un pneumatique préparé comme cela vient d'être indiqué; P, P', P'' sont des plateaux creux, en acier, où arrive de la vapeur de chauffe par des tuyaux latéraux présentant des courbures qui leur permettent de suivre les petits déplacements des plateaux sous l'action du piston. On voit donc, par ce dispositif très simple, que le caoutchouc est à la fois comprimé et cuit, donc vulcanisé, et qu'il éprouve comme une demi-fusion, de sorte qu'après refroidissement et démoulage, la matière a l'apparence d'une seule coulée homogène. Il ne reste plus pour terminer, qu'à poser le croissant protecteur lisse ou cannelé, ou armé de têtes en fer comme antidérapant ou protecteur d'usure.

Quant à la chambre à air, elle est constituée par du caoutchouc pur additionné de soufre et bien vulcanisé.

La fabrication de ces tuyaux est analogue à celle qui a été déjà décrite; on en coupe une longueur un peu plus grande que la circonférence définitive, puis on affronte et soude les extrémités avec de la dissolution.

#### IV. Notions statistiques et économiques.

Le caoutchouc donne lieu à un mouvement d'affaires considérable qui se chiffre actuellement par milliards, sans compter les capitaux très importants engagés dans les installations de plantations. Cette matière se classe dans les produits de grande consommation à la suite du charbon, du fer, du pétrole, des huiles, des engrais, etc.

Les principaux marchés, ou centres de transactions, sont Liverpool, Londres, Le Havre, Rotterdam, Hambourg, Anvers. Voici un tableau donnant l'ordre de grandeur de la production dans les diverses régions et qui montre combien le caoutchouc cultivé, ou de plantation, a prodigieusement prospéré.

ANNÉES	PRODUCTION MONDIALE	AMAZONIE	PLANTATIONS	AUTRES RÉGIONS
1900	54.000 t	27.000 t	4 t	27.000 t
1911	90.000	40.000	30.000	20.000
1916	178.000	37.000	130.000	11.000

Quant à la consommation, elle se maintient très voisine de la production et les stocks sont relativement faibles. On peut prévoir que les besoins de l'industrie deviendront de plus en plus considérables et que le prix du caoutchouc se maintiendra à un niveau rémunérateur pour le producteur, car la marge de bénéfice laissée aux planteurs, tout en étant variable, reste très encourageante, le prix de revient de la livre anglaise (453 grammes) étant voisin de 2 shillings, inférieur à celui du para; on peut compter sur une production annuelle de 300 livres de caoutchouc par acre (40 ares, 47) <sup>1</sup>.

Ces perspectives favorables expliquent l'engouement qui s'est emparé du public financier pour les affaires de caoutchouc, dont les titres se négocient principalement au Stock Exchange de Londres. L'enthousiasme a été tel en 1909-1910 qu'il en est résulté ce qu'on appelle un *boom* financier (rubber boom), c'est-à-dire une hausse parfois exagérée des cours qui fit que des actions au pair de 2 sh. atteignirent le cours de 36 shillings. Il est vrai que certains titres donnèrent jusqu'à 300 % de dividende et, qu'en deux ans, 800 % du capital engagé fut remboursé aux actionnaires. Nous autres Français sommes restés assez en arrière de ces entreprises. Nous pourrions cependant donner une impulsion plus vive à nos plantations de caoutchouc de Cochinchine où une bande de terrain de 100 kilomètres de longueur sur 40 de largeur est très propice à la culture de l'*hevea brasiliensis*; le quart à peine de cette zone

1. Cotation des cours du caoutchouc : en shillings et pence à Londres et Liverpool la livre de 453 grammes en francs par kilogrammes en France; en marks et pfennigs à Hambourg par kilogramme, etc. ; 10 fr. 25 le kilogramme en 1913.



est mis en valeur, par cinq millions d'arbres répartis sur une centaine de plantations et un capital engagé d'une trentaine de millions. Pendant trop longtemps, en France, on a méconnu le rôle des colonies au point de vue du développement économique de la Métropole. Il n'est pas toujours nécessaire, ni même possible, qu'un Etat européen possède des *colonies de peuplement*, mais il est indispensable qu'il ait des *colonies d'exploitation* où il puisse trouver à bon compte des matières premières. L'exemple de l'Angleterre avec les Indes, le Canada, l'Australie,... de la Belgique avec le Congo, de la Hollande avec ses Indes néerlandaises, est là pour le prouver.

### III. — PAPIER

Le papier peut être, dans une certaine mesure, comparé à un tissu où les fibres sont enchevêtrées d'une manière confuse analogue à celle d'un feutrage; mais on n'emploie, pour cette fabrication, que des textiles d'origine végétale. Autrefois, quand les besoins de la consommation étaient très-restricts, les débris de *chiffons* hors d'usage pouvaient presque suffire à alimenter les usines à papier. Mais avec le développement prodigieux de la *presse* quotidienne, c'est-à-dire l'énorme tirage quotidien des journaux il a fallu trouver des sources plus abondantes, c'est alors que l'on s'est adressé à diverses matières : la paille, l'alfa d'Algérie et surtout le bois : de sorte que l'on peut dire qu'avec les besoins actuels de l'industrie, une vaste forêt disparaît chaque jour de la surface du globe pour se transformer en journaux et en livres. Nous allons donner quelques indications sur le traitement des diverses matières premières en vue de les amener à l'état de *pâte*; puis, nous indiquerons comment on la transforme en *feuilles*.

1° - *Obtention de la pâte à papier.* — A) *Pâte de chiffons.* — Les chiffons sont d'abord débarrassés des agrafes



métalliques, boutons, etc., qui peuvent y adhérer, puis triés en *blancs* et en *teints*. Il s'agit ensuite de les nettoyer, de les débarrasser des impuretés et matières grasses ou malpropres qui les souillent. Dans ce but, les chiffons sont soumis à un lessivage (solution de soude) dans des appareils rotatifs capables de résister à une forte pression intérieure (fig. 435). La matière est ensuite abondamment lavée, puis désagrégée, dans l'appareil suivant, appelé *pile effilocheuse*.

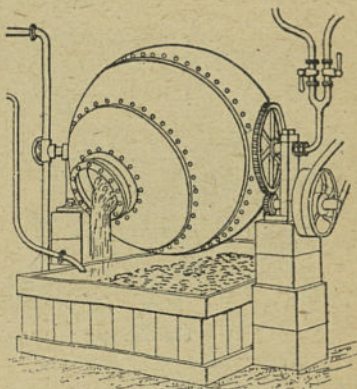


Fig. 435. — Lessiveur sphérique pour pâte à chiffons.

La pile effilocheuse (fig. 436 et 437) se compose d'une auge allongée et arrondie aux extrémités; une cloison longitudinale *oo* la sépare incomplètement en deux moitiés parallèles qui la font ressembler à une sorte de

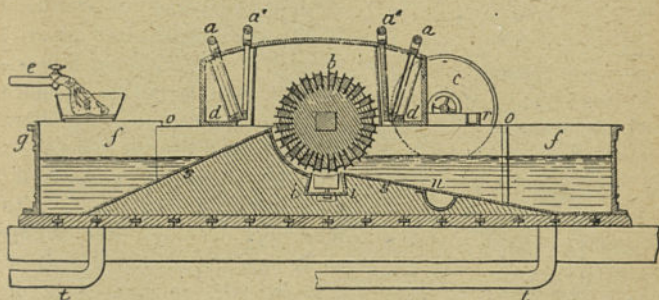


Fig. 436. — Pile effilocheuse; coupe verticale

piste. D'un côté de celle-ci est installé un cylindre *b* dont la périphérie est armée d'un système de lames acérées, comme le

représente la figure 438. Ce cylindre arrive à peu de distance

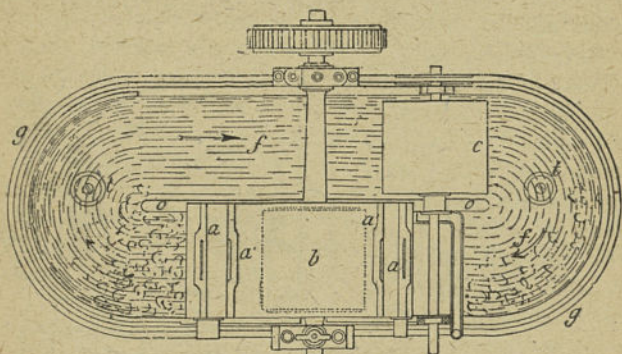


Fig. 437. — Pile effilocheuse; plan.

d'une partie horizontale, appelée *platine*, portant elle-même une garniture dentée analogue. Cette platine est encastrée dans

une concavité cylindrique qui sépare les deux versants d'un monticule formé par deux plans inclinés *ss* à pentes inégales. Les chiffons propres, étant jetés dans la pile avec une certaine quantité d'eau, sont entraînés par le mouvement de rotation du cylindre effilocheur, et toute la matière tourne dans le sens de la flèche *f*; en passant entre les dents du cylindre et de la platine, les morceaux d'étoffe sont effilochés, *détissés*, désagrégés, et se transforment en une sorte de bouillie semi-fluide; en même temps, les matières insolubles, terreuses et autres qui souillaient

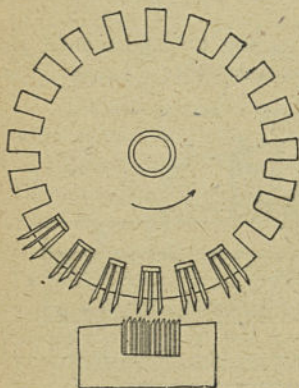


Fig. 438. — Disposition des lames métalliques sur le cylindre et la platine de la pile effilocheuse.

les chiffons, tombent dans une cavité *n* ménagée à cet effet.

Au sortir de la pile effilocheuse, la matière est soumise à un égouttage sur des toiles métalliques et est ensuite extraite sous forme d'une *demi-pâte* cartonnée qu'on blanchit par le chlorure de chaux, dans une pile spéciale (fig. 439). Il est indispensable d'éliminer l'excès de chlore qui pourrait subsister dans la fibre et l'altérer; on y parvient par l'addition d'une petite quantité d'un *anti-chlore* (Voir § IV, chap. VI; *blanchiment*).

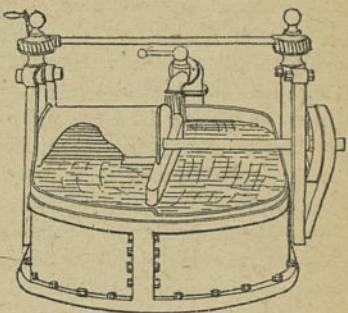


Fig. 439. — Pile pour le blanchiment de la pâte.

La pâte est encore grossière; elle ne fournirait qu'un papier rugueux, de qualité inférieure; il faut amener ses éléments à un degré de finesse plus avancé; dans ce but, on la verse dans une pile, dite *raffineuse*, qui peut être agencée comme l'effilocheuse,

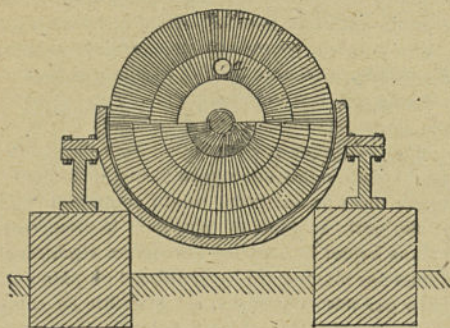


Fig. 440. — Disposition des lames triturantes dans les raffineuses à meule verticale.

mais avec des lames plus rapprochées, ou bien être composée d'une meule verticale mobile entre deux autres meules fixes très rapprochées; les unes et les autres étant garnies de lames d'acier (fig. 440) dont le degré de finesse va en s'accen-

tuant, au fur et à mesure que la *pulpé* s'affine elle-même. En même temps, on fait le mélange de différentes pâtes et on



ajoute la colle destinée à augmenter la cohésion du papier et à lui communiquer l'imporosité nécessaire pour qu'on puisse écrire dessus sans que l'encre s'étale comme sur un buvard. Cette colle est généralement formée par un mélange de savon résineux et d'alun, ou de sulfate d'alumine additionné de fécule; on ajoute aussi, très souvent, des *matières de charge* : kaolin, sulfate de baryum, etc., qui augmentent le poids du papier. La pâte, malgré les opérations du blanchiment, conserve une légère teinte jaunâtre que l'on masque par l'*azurage*, qui consiste à additionner la matière avec une petite proportion d'un colorant bleu (absolument comme pour le linge).

B) Pâte de paille. — La paille est hachée et chauffée sous pression avec une lessive de soude qui dissout les parties résineuses et siliceuses et amène la désagrégation de la matière, la séparation des fibres. On procède ensuite à un chlorage très prononcé pour produire la décoloration. Malgré tout, la pâte ne peut servir que d'adjuvant à d'autres fibres plus relevées, ou bien ne peut servir qu'à fabriquer un *papier-paille* très grossier.

C) Pâte d'alfa. — L'alfa est une plante buissonneuse qui croît abondamment sur les hauts plateaux de l'Algérie et qui ressemble au *sparte* d'Espagne. Elle contient beaucoup de *cellulose* et peut donner une pâte bien supérieure comme qualité à celle que fournit la paille. La province d'Oran qui, il y a cinquante ans, n'en exportait qu'un millier de tonnes, en envoie maintenant deux cents fois plus, surtout en Angleterre, d'où elle nous revient sous forme de papier.

L'alfa subit une série de traitements analogues à ceux de la paille. La plante est d'abord jetée dans un lessiveur rotatif contenant de la soude caustique, d'où elle sort, au bout de plusieurs heures, sous forme de liquide noir dans lequel flottent les fibres bien séparées et que l'on broie ensuite sous des meules qui les réduisent en pâte noirâtre; celle-ci, desséchée par desessoreuses, est blanchie au chlorure de chaux et lavée; elle est prête alors à subir le façonnage mécanique en feuilles.

D) Pâte de bois. — Il y a la pâte de bois *mécanique* et la pâte dite *chimique*. La première est obtenue par usure des

bûches contre une meule de grès avec arrosage abondant simultané ; l'espèce de farine qui en résulte est soumise au filtre-pressé et est ajoutée, soit à la pâte de chiffons, soit à la pâte chimique dont nous allons parler et qui a remplacé presque exclusivement partout l'ancienne pâte à chiffons, de trop faible production.

La seule partie utilisable dans le bois, comme d'ailleurs dans toute matière textile, pour la fabrication du papier, est la *cellulose* ; mais, dans le ligneux et dans la paille, elle est plus ou moins altérée par la formation d'une substance dérivée appelée *ligno-cellulose*, solubilisable par le chlore ou par les *bisulfites*, notamment par le bisulfite de calcium en solution aqueuse, que les usines à pâte de papier fabriquent elles mêmes en faisant brûler du soufre ou des pyrites et dirigeant le gaz sulfureux sur des pierres calcaires arrosées constamment par une pluie d'eau. Le bois, découpé en bûchettes, est traité pendant plusieurs heures par le bisulfite chaud et sous pression ; la désagrégation du tissu ligneux se produit, la matière se fragmente et, en cet état, passe dans les piles effilocheuse et raffineuse. La pâte ainsi obtenue est presque prête pour la transformation en feuilles, car le bisulfite a exercé une action décolorante marquée, qu'on peut compléter d'ailleurs par un blanchiment électrolytique ou autre.

## 2<sup>o</sup> Transformation de la pâte en feuilles. —

A) Fabrication manuelle. — L'ancienne fabrication à la main est presque complètement abandonnée ; elle consistait à plonger dans la pâte raffinée une *forme*, sorte de cadre sur lequel était tendue une toile métallique à mailles très fines ; en imprimant à ce cadre quelques secousses, dans un sens ou dans l'autre, on faisait écouler l'eau d'imprégnation et il restait sur le réseau une pellicule de fibres légèrement enchevêtrées, mais encore peu adhérentes ; cette lame était déposée doucement sur une feuille de feutre au-dessus de laquelle on en étendait une autre obtenue dans des conditions analogues, et ainsi de suite ; la pile ainsi constituée était ensuite fortement comprimée, puis les feuilles étaient séparées, séchées et collées dans une solution gélatineuse. Le papier fabriqué de cette manière, appelé papier



à la *main* ou à la *forme*, était très résistant parce qu'il n'avait pas subi les tractions inévitables qui se produisent entre les rouleaux des machines.

Le papier *vergé* est marqué de petites rayures parallèles provenant de ce que le réseau de la forme est constitué par des fils parallèles et rapprochés, mais non croisés comme ceux d'un tissu. Si, sur la toile métallique, on dispose un fil de laiton suivant un contour déterminé, l'empreinte de celui-ci ressortira, en fin de fabrication, sous l'aspect d'un dessin clair appelé *fili-grane*. Le papier *vélin*, par l'absence de toutes marques et *vergeures*, imite la blancheur et l'uni du véritable vélin, qui est une peau de veau très fine et parcheminée.

En résumé, les opérations essentielles de la fabrication manuelle consistent en une élimination de l'eau de la pâte successivement, par *filtration*, *pression* et *évaporation* ou séchage. Ce sont, à peu de chose près, les mêmes procédés qui sont mis en œuvre par les machines, avec ce perfectionnement essentiel que le travail devient *continu*.

B) **Fabrication mécanique.** — Une machine à papier est un organisme très compliqué et très volumineux dont nous allons donner un court aperçu ; l'ensemble des appareils est représenté par les figures 441 et 442 dont l'une est la suite de l'autre. La pâte raffinée, délayée avec une proportion d'eau convenable, est versée dans un *épurateur a*, à palettes agitatrices ; elle passe ensuite dans l'auge *a'* et tombe sur la *forme a'' a''*, qui est une toile métallique sans fin, dont la partie supérieure est maintenue bien horizontale par une série de petits rouleaux en cuivre, et qui passe ensuite sous le bâti, pour revenir vers le haut, et ainsi de suite, indéfiniment. Cette toile métallique est animée d'un double mouvement de progression longitudinale et de va-et-vient latéral, dans le but de faciliter l'écoulement de l'eau et d'uniformiser la couche de pâte en épaisseur. Les bords sont limités par deux courroies de cuir *m, m*, sans fin, entraînées dans le mouvement général de progression jusqu'en un certain point *t*, à partir duquel elles se relèvent, pour aller se laver dans l'auge *n* et revenir au point de départ. Aussitôt déposée sur la toile métallique, la pâte est



débarrassée de l'eau en excès, qui filtre naturellement à travers les mailles, et vient tomber dans la cuve *c* placée au-dessous. La toile métallique, avec sa pellicule encore fragile de pâte, glisse ensuite tout contre et au dessus d'un *aspirateur* *d, d*, dans lequel on produit une raréfaction de l'air, de sorte que la pression atmosphérique, qui s'exerce au-dessus, chasse l'eau au-dessous.

La feuille passe ensuite entre deux cylindres *égoutteurs* qui la compriment et, à partir de là, quitte la forme et est

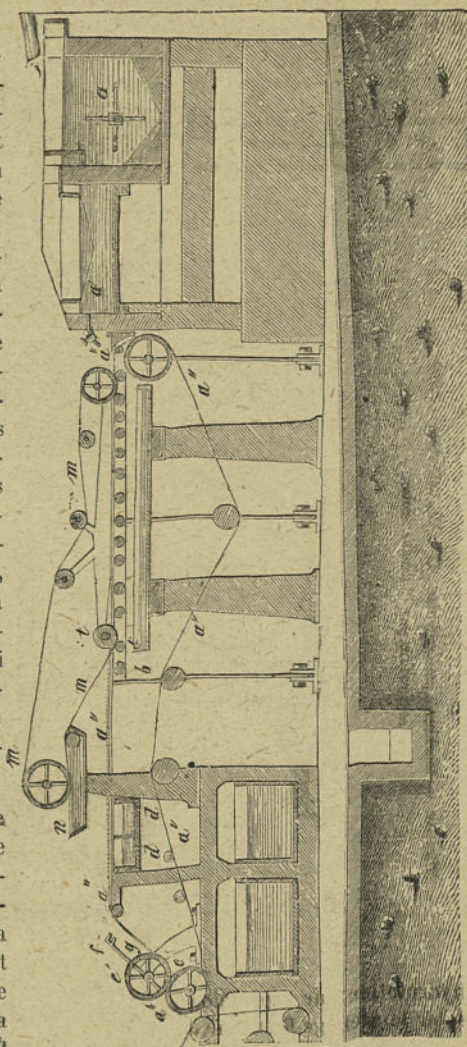


Fig. 441. — Machine à papier ; fabrication de la feuille continue.

reçue sur un feutre qui la conduit entre d'autres cylindres, lesquels lui communiquent un certain degré de *lissure*; la

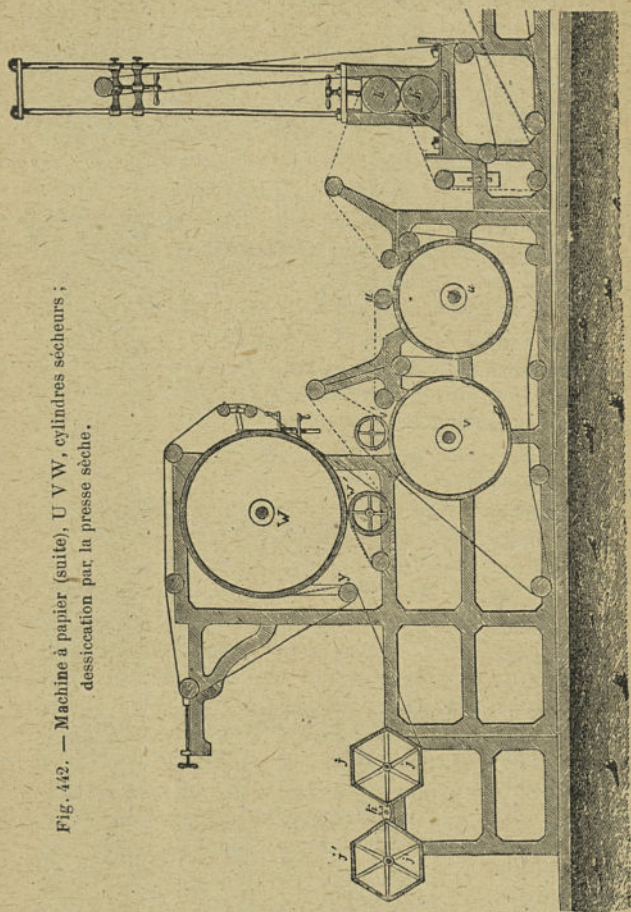


Fig. 442. — Machine à papier (suite), U V W, cylindres sécheurs ;  
dessiccation par la presse sèche.

déshydratation par expression est alors terminée et la feuille va subir le séchage final par chauffage et évaporation. Dans ce



but, elle contourne de gros cylindres en fonte (fig. 442), *u, v, w* chauffés intérieurement à 100°-130° par une circulation de vapeur, contre lesquels elle est fortement appliquée par des rouleaux compresseurs *u', v', w'* garnis de feutre. Le papier, une fois sec, vient s'enrouler sur les dévidoirs *j, j'*.

**Papiers spéciaux.** — Le papier à *filtrer* se prépare avec le coton et ne reçoit pas d'encollage ; il en est de même du papier *burard*.

Le carton s'obtient en puisant à la forme, une notable épaisseur de pâte (carton de *puisage*, ou de *moulage*), ou bien par réunion de plusieurs feuilles, soit par pression (carton de *couchage*), soit par collage (carton de *collage*). On fabrique aussi du carton à la *mécanique*, au moyen de machines à rouleaux.

Le carton *bitumé* est imbibé d'un mélange de goudron bouillant et de brai, puis saupoudré de sable et séché.

Le papier *parchemin* est obtenu en trempant, pendant une dizaine de secondes, du papier non collé dans un mélange *préalablement refroidi* d'acide sulfurique concentré avec la moitié de son volume d'eau ; on lave ensuite abondamment d'abord à l'eau pure, puis légèrement ammoniacale, pour éliminer toute trace d'acide, et on sèche. Le papier, ainsi traité, a pris l'aspect, la résistance et la translucidité du parchemin animal.

Le papier *brun* d'emballage est fabriqué avec des chiffons de couleur (papier coloré naturellement).

Les papiers *colorés* peuvent l'être *dans la pâte*, par addition de colorants dans la cuve de raffinage, ou bien superficiellement, d'un seul ou des deux côtés, par application de la couleur au moyen d'une éponge ou d'une brosse.

Le papier *Willesden*, à surface imperméabilisée, est obtenu par immersion, pendant quelques instants, dans la liqueur cupro-ammoniacale de Schweitzer.

Le papier *du Japon* est fabriqué avec les écorces de divers arbres, surtout celle du mûrier. Il n'est pas blanchi, ce qui explique sa teinte jaunâtre, mais il est extrêmement résistant, grâce au peu de manipulations altérantes qu'a subies la fibre. Le papier *de Chine* a une origine analogue.

Le papier *couché*, employé pour l'illustration, doit sa surface unie à l'application d'une couche de pâte blanche spéciale, par des procédés rappelant absolument ceux qui sont utilisés dans la fabrication du papier peint.



## IV. — PLUMES ET CRAYONS

1<sup>o</sup> Plumes métalliques.

L'ancienne *plume d'oie* est à peu près abandonnée et remplacée partout par la plume métallique qui se fabrique princi-



Fig. 443. — Découpage des *flans* pour plumes métalliques.

palement à Birmingham, en Angleterre, à Berlin, à New-York et à Boulogne-sur-Mer, en France.

La fabrication, assez complexe, comprend une série d'opérations que nous résumerons de la manière suivante :

1<sup>o</sup> La matière première consiste en feuilles d'acier demi-doux, d'environ un demi-millimètre d'épaisseur, qu'on divise en *bandes* ayant une largeur suffisante pour qu'on puisse

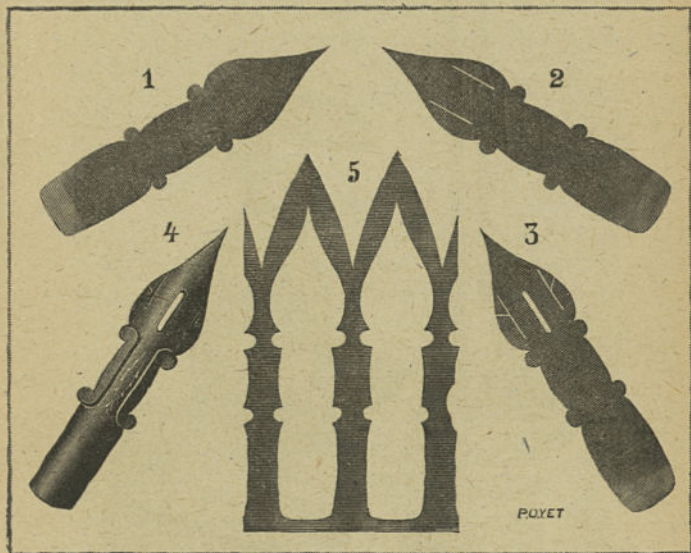


Fig. 444. — Plume aux diverses phases de la fabrication :

1, flan découpé ; 2, perforation des fentes latérales ; 3, évidement central ; 4, courbure du corps de la plume et fente du bec ; 5, déchets de découpage.

y découper deux plumes. Ces bandes, après avoir subi un *recuit* convenable, sont laminées à froid jusqu'à la faible épaisseur qui est celle que doit avoir la plume ;

2<sup>o</sup> La bande est engagée dans une presse à balancier, agissant comme emporte-pièce, qui la découpe en morceaux, ou *flans*, destinés chacun à fournir une plume. Ce travail est effectué à la main (fig. 443) pour les articles de bonne qualité ; en

même temps la machine perce le flan suivant une ouverture axiale de forme allongée (fig. 444).

3<sup>o</sup> **Marquage** ou estampage de la marque de fabrique, au moyen d'un petit *mouton* estampeur (fig. 445).

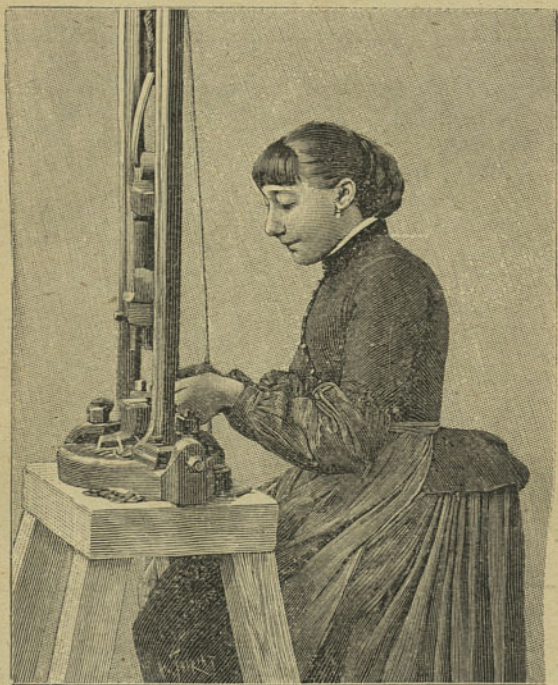


Fig. 445. — Estampage de la marque de fabrique.

4<sup>o</sup> **Perçage** des fentes latérales destinées à donner de l'élasticité au fonctionnement de la plume ;

5<sup>o</sup> **Formage**, toujours sous l'action d'un balancier ou presse à vis, pour former la gouttière héli-cylindrique ou queue de la plume, qui permettra de la fixer dans la pince du porte-plume ;



6° **Trempage** à l'huile, par chauffage au rouge cerise en vase clos, à l'abri de l'air, et immersion dans un bain d'huile ; puis *revenu* vers 200°-250° et refroidissement dans l'eau ;

7° **Nettoyage** pendant deux jours, dans des barils contenant du grès très fin et de l'eau ; ce qui a pour effet de polir et d'ébarber les plumes ;

8° **Aiguisage** des plumes, une à une, par application du dos et des bords contre une meule verticale en bois enduite de poudre d'émeri fin ;

9° **Fendage**, opération très délicate, qui consiste à diviser la pointe en *deux becs*, en produisant une fente allant bien axialement depuis cette pointe jusqu'à l'évidement central. L'appareil employé est une sorte de ciseau composé de deux blocs d'acier extra dur, à bords très vifs, entre lesquels la partie pointue de la plume se trouve engagée et divisée ;

10° **Vernissage**. Dans le but d'éviter l'oxydation, ou de leur donner un aspect plus agréable, les plumes sont enduites d'un vernis coloré ou bronzé, ou dorées par le courant électrique. Beaucoup sont simplement *grisées* par frottement avec l'ardoise pilée, d'autres sont noircies ou bleuies au feu, etc.

On fabrique aussi, comme article de luxe, des plumes d'or, inoxydables, composées d'un alliage d'or et d'argent ou de cuivre, pour le *corps* même de l'article ; quant à la pointe, elle est constituée par un petit grain d'un métal très coûteux, appelé *iridium*, soudé à l'or par le moyen du chalumeau. Ce métal très dur est préférable au platine parce qu'il a la propriété de ne pas s'émousser. La pointe est ensuite fendue avec une scie extrêmement fine, et enfin polie. Ces plumes d'or sont surtout utilisées maintenant dans les porte-plumes *réservoirs* ou *stylographes*, dont l'usage se répand de plus en plus.

D'un autre côté, l'emploi de la plume d'acier tend à être remplacé, dans les maisons de commerce, par celui de la *machine à écrire*, qui imprime sur une feuille de papier des lettres très lisibles ayant l'aspect des caractères typographiques.

## 2° Crayons.

Dans un crayon, il y a lieu de distinguer la *mine* intérieure et l'enveloppe protectrice ou *gaine*. Celle-ci est généralement en bois et quelquefois en papier enroulé ; le bois utilisé doit être assez tendre ; le *cèdre*, d'un parfum si agréable, et le *tilleul*, conviennent parfaitement.

A) Préparation de la mine. — L'argile fine, lavée et tamisée, est mélangée soit avec du *graphite*, pour les crayons ordinaires, soit avec du noir de fumée pour les crayons dits genre *Conté*, ou enfin avec des colorants divers. On forme une

pâte que l'on file sous pression à travers une filière et que l'on cuit ensuite modérément.

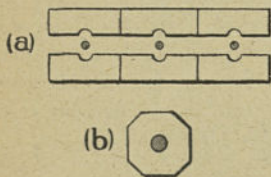


Fig. 446. — Diverses phases de la fabrication d'un crayon.

B) Préparation de la gaine.

— Le bois est débité en plaquettes un peu plus épaisses que le demi-diamètre d'un crayon ; ces plaquettes sont ensuite creusées, de distance en distance, de rainures semi-cylindriques destinées à servir

de logement aux mines (fig. 446, a) ; après insertion de celles-ci, deux de ces plaquettes sont collées et pressées, puis séparées à la scie en autant de baguettes qu'il y a de mines. Chacune de ces baguettes est ensuite taillée et façonnée suivant une section polygonale ou circulaire. Finalement, le crayon est marqué et verni.

## V. — IMPRIMERIE

D'une manière générale, on donne le nom d'*impression* à l'ensemble des procédés de reproduction de figures quelconques,  
IRIS - LILLIAD - Université Lille

préalablement gravées ou dessinées sur des planches ou des cylindres que l'on enduit d'un colorant et que l'on presse fortement sur une surface telle qu'un tissu ou un papier.

D'après cette définition, il y a lieu de distinguer spécialement, parmi les divers genres d'impression :

A) L'imprimerie *typographique*, ou *typographie*, simplement *imprimerie*, de laquelle on peut rapprocher la gravure typographique ou en relief ;

B) L'impression en *taille douce*, ou gravure en creux ;

C) L'impression *lithographique*, ou gravure sans relief.

L'imprimerie consiste à reproduire des textes écrits au moyen de caractères mobiles séparés, appelés *types* ou *caractères* gravés en relief à l'une de leurs extrémités appelée *œil*, et représentant chacune une lettre, un chiffre, ou tel autre signe utilisé dans l'écriture (fig. 447). Ces caractères sont juxtaposés de façon à faire des mots, des phrases, des lignes, etc., puis enduits d'encre grasse et fortement appliqués sur le papier ; le texte pourra ainsi être reproduit à un nombre considérable d'exemplaires, sans autre peine que d'avoir à encre et à presser.

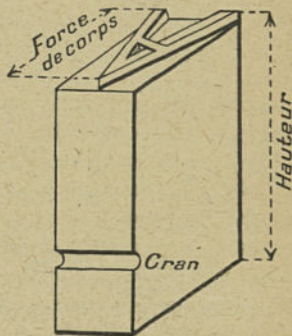


Fig. 447. — Caractère typographique.

D'après cela, les deux opérations fondamentales de la typographie sont, d'abord l'assemblage des caractères, ou *composition*, puis l'impression sur le papier, ou *tirage* ; celui-ci terminé, on peut, si on le désire, désassembler la composition et faire resservir les caractères à l'impression d'un texte différent du premier ; tous les caractères correspondant à une même lettre auront été préalablement classés ensemble (*distribution*).

L'invention de cet art, qui a exercé une si prodigieuse influence sur la formation des esprits, remonte à quelques centaines d'années et a été notablement amélioré par Gutenberg, de



Mayence, auquel on attribue même parfois la création en bloc de tout le procédé typographique.

Comme on le voit par la figure 447, les caractères sont de petits prismes dont les dimensions ont reçu des appellations spéciales. Ils sont obtenus en coulant, dans des moules appropriés, un alliage fondu de plomb, d'antimoine et d'étain ; les *fonderies de caractères* sont des établissements qui s'occupent spécialement de ce genre de fabrication. On ménage, sur le



Fig. 448.

côté supérieur du prisme, un *cran* destiné à indiquer, sans plus ample examen, comment il faut placer le caractère pour que la lettre ait sa position normale. La *force du corps*, correspond à la dimension que nous appelons *hauteur* de la lettre. Pour le *texte*, la force du

corps est mesurée par l'espace en hauteur nécessaire pour loger une ligne, c'est-à-dire la distance comprise entre les extrémités extérieures des lettres dépassantes, telles que *l, d, g*, etc. (fig. 448). Cet écartement s'évalue encore aujourd'hui, en typographie, au moyen d'une unité dérivant des anciennes mesures : le *point typographique* qui vaut 0 mm. 376, soit la sixième partie d'une *ligne*, laquelle valait 2 mm. 256, ou le douzième du pouce, qui lui-même était le douzième du  *pied de roi*. Ainsi, le texte ordinaire de ce livre est imprimé en caractères de 9 points ayant, par suite, une force de corps de 0 mm. 376  $\times$  9 = 3 mm. 384.

**Composition.** — L'ouvrier *compositeur* tient dans sa main gauche un petit appareil appelé *composteur* et se place devant la *casse*, sorte de casier incliné, à multiples compartiments contenant chacun un grand nombre de spécimens d'une même lettre. Le *composteur* (fig. 449) sert à assembler les caractères et à les maintenir momentanément ; il consiste en une lame présentant deux rebords : un longitudinal et un extrême formant talon fixe, tandis qu'un talon mobile peut se déplacer de manière à limiter, entre lui et le précédent, une distance déterminée égale à la longueur que doit avoir chaque *ligne* du texte

à imprimer. Pour *composer*, le typographe lève une lettre, puisée dans un des compartiments de la *casse*, et la place debout contre le rebord longitudinal, le *cran* du caractère étant en bas et en dedans : il procède de même pour les autres lettres, en maintenant avec le pouce gauche celles qui sont déjà en place. Chaque mot est séparé du précédent par une petite pièce sans lettre, plus courte que les autres, appelée *espace* ; les fins d'ali-

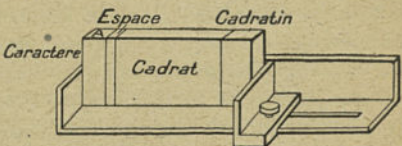


Fig. 449. — Compositeur typographique et diverses pièces de remplissage

néas, qui doivent être en blanc pour terminer une ligne, sont comblés de même au moyen de diverses autres pièces telles que *cadrats*, *cadratins*, etc. (fig. 449). Il arrive généralement que la dernière lettre qu'on a pu mettre sur une ligne laisse encore, jusqu'au talon fixe, un petit intervalle insuffisant pour amorcer un mot ; comme, d'une part, toutes les lignes doivent être absolument de même longueur, il faut amener la dernière lettre juste en contact avec le talon ; d'autre part, *aucun jeu* ne peut être toléré entre les caractères, on comble alors la distance disponible au moyen d'un certain nombre d'*espaces* très minces que l'on distribue en *inter-mots*, tout le

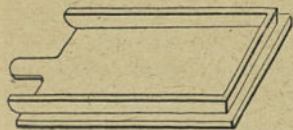


Fig. 450. — Galée à double équerre, ou plateau.

long de la ligne, de façon à produire un ensemble d'écartements réguliers : c'est ce qu'on appelle la *justification* de la ligne. Le typographe compose ensuite la ligne suivante, en la séparant de la précédente par une languette longue et mince destinée à ménager l'*interligne*.

Une fois le compositeur rempli, la composition qu'il contient est enlevée et couchée sur une planche appelée *galée* (fig. 450) dont les rebords maintiennent l'assemblage des caractères ; lorsque cette galée, dont la grandeur correspond générale-



mément à la contenance d'une page de livre, est elle-même complètement couverte, on ligature son contenu de manière à former un *paquet* que l'on met en réserve momentanément. Quand le nombre de paquets devient suffisant pour constituer une *feuille* d'imprimerie, *recto* et *verso*, le *metteur en pages* entre alors en scène ; il place les paquets sur une table en fonte, appelée *marbre*, et les dispose de telle façon, qu'une fois la feuille imprimée et repliée sur elle-même autant de fois que le veut le *format*, les pages se suivent parfaitement dans leur ordre numérique ; il faut, de plus, ménager, autour des pages et entre elles, les *blancs* ou intervalles nécessaires pour constituer les diverses marges ; on y arrive par l'intercalation de blocs ajourés appelés *garnitures* ; enfin, il faut rendre solidaires toutes ces pièces sans cohésion, de façon à en faire un ensemble rigide, en l'entourant d'un solide cadre en fer, ou *châssis*, divisé en deux par une barre transversale, puis serrant le tout au moyen d'un certain nombre de *coins* en fer ou en bois. L'ensemble de ces diverses opérations, qui ont pour but d'agencer convenablement les éléments de la feuille, se nomme *l'imposition*.

Chaque feuillè, devant recevoir deux impressions (*recto* et *verso*), demandera la confection de deux *formes*, ou châssis ;

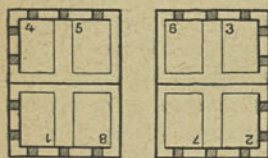


Fig. 451.— Imposition *in-quarto*.

Une des formes, celle qui porte la page de numéro le moins élevé, constitue un groupe de pages dénommé *côté de première*, l'autre groupe est dit *côté de seconde*, ou *côté de deux*. L'ordre dans lequel les pages doivent être placées dépend essentiellement du format ; celui-ci est dit *in-folio* quand la feuille est

pliée en deux (ce qui fera quatre pages de texte) ; *in-quarto* correspond au pliage en quatre, *in-octavo* au pliage en huit ; il y a de même l'*in-douze*, l'*in-dix-huit*, etc. La figure 451 montre le genre d'imposition qu'il faut adopter pour le format *in-quarto* ; on peut faire la vérification en pliant en quatre une feuille de papier quelconque, comme si l'on voulait en faire un



petit cahier, numérotant les pages sans les couper, puis dépliant de façon à reconstituer la feuille primitive.

De plus, en vue de faciliter l'assemblage futur et la reliure des diverses feuilles, chacune de celles-ci est caractérisée par un numéro d'ordre placé dans le bas de la première page de la feuille.

Une fois la mise en pages terminée, on tire une épreuve dite *première*, qui est soumise à l'examen d'un correcteur; les fautes, s'il y en a, sont réparées par le compositeur et, pour plus de sûreté, la seconde épreuve est envoyée à l'auteur, pour examen; lorsque les dernières corrections sont effectuées, le *bon à tirer* peut alors être donné et, après ces longs préliminaires, le *tirage* ou impression proprement dite, s'accomplit à son tour.

Certaines difficultés spéciales se présentent cependant lorsque le texte doit être accompagné d'illustrations, de gravures, dont la mise en place et le tirage sont toujours des opérations délicates. On fait alors généralement, avant la mise en pages, un tirage d'affilée, *sur placard*, c'est-à-dire une impression en colonnes sur un seul côté d'une feuille. C'est sur ce placard, sorte de travail préparatoire, que l'on peut procéder aux grosses corrections, à l'atelier et chez l'auteur.

**Composition mécanique.** — Comme on a pu s'en rendre compte par ce qui précède, la composition typographique, exécutée à la main, est un travail exigeant beaucoup de temps et d'attention soutenue; aussi, a-t-on cherché à le rendre plus expéditif par divers procédés mécaniques. Il existe de telles *machines à composer*, de divers genres. Nous citerons la *linotype* employée pour la composition des journaux; elle fond, au fur et à mesure de la composition, non pas des éléments séparés, mais une ligne entière, aussitôt que le moule en est prêt; celui-ci se fait automatiquement par la manœuvre d'un clavier dont chaque touche représente un signe alphabétique; en appuyant sur une de ces touches, le mécanisme fait descendre dans le composeur, non un caractère ordinaire, mais un moule en creux de celui-ci; une fois la ligne ainsi composée, le métal fondu vient couler dans l'empreinte, se solidifie rapidement, et

la ligne obtenue vient se placer au-dessus de celle précédemment formée ; pendant ce temps-là, chacun des caractères qui viennent de servir se trouve renvoyé automatiquement dans celle des cases qui, parmi une centaine d'autres, lui correspond spécialement, puis une autre ligne recommence dans les mêmes conditions. Cette machine opère très vite, mais les corrections ne peuvent se faire qu'en refondant la ligne entière où la faute s'est produite. Dans la *monotype*, les caractères sont fondus séparément et viennent s'aligner aussitôt à la place convenable, mais, au préalable, il a d'abord fallu préparer une bande perforée au moyen d'une deuxième machine munie d'un clavier dactylographique. De là cette bande passe sur la machine à fondre, qui fournit finalement la composition.

Tous ces dispositifs trouvent leur emploi légitime dans le tirage des journaux, mais ne peuvent satisfaire aux exigences multiples et variées de la librairie.

**Tirage.** — Le tirage s'effectue, le plus souvent, mécaniquement, surtout aujourd'hui ; cependant, comme ces appareils ne font pas, au fond, d'autre travail que celui qui était exécuté par la main de l'homme, nous décrivons la *presse à bras* dont la simplicité permet mieux de saisir les opérations.

Cet appareil se compose essentiellement d'un bâti, supportant une *presse à vis*, et une plate-forme, appelée *marbre*, pouvant se mouvoir sur des glissières et se placer sous la plaque de presse, ou platine (fig. 452). Le mouvement du marbre est déterminé par une poignée, et celui de la vis de presse par le jeu d'un levier. La platine et la presse sont intercalées entre deux montants verticaux appelés *jumelles*. Au bord extrême du marbre est articulé un cadre, dit *tympan*, qui est garni de drap ; le bord supérieur de ce tympan porte à son tour un autre cadre à charnière, dit *frisquette*, sur lequel sont tendues plusieurs feuilles de papier superposées, et qui peut se rabattre sur le tympan. Ceci posé, plaçons le châssis de composition, ou forme, sur le marbre, encrons au moyen d'un rouleau souple garni d'un mélange de noir de fumée et de vernis (encre d'imprimerie), rabattons la frisquette et le tympan, glissons le tout sous la platine et pressons : le texte va s'imprimer sur la



frisquette : découpons alors celle-ci suivant autant de fenêtres rectangulaires qu'il y a de pages, en suivant exactement les bords de celles-ci, la frisquette sera réduite à un certain nombre de bandes correspondant aux diverses marges et qui, lors d'une impression, pourront venir s'insérer dans les creux des garnitures et empêcher ultérieurement le papier de tirage de se gaufrer et de se salir. Ce petit travail préparatoire étant effectué,

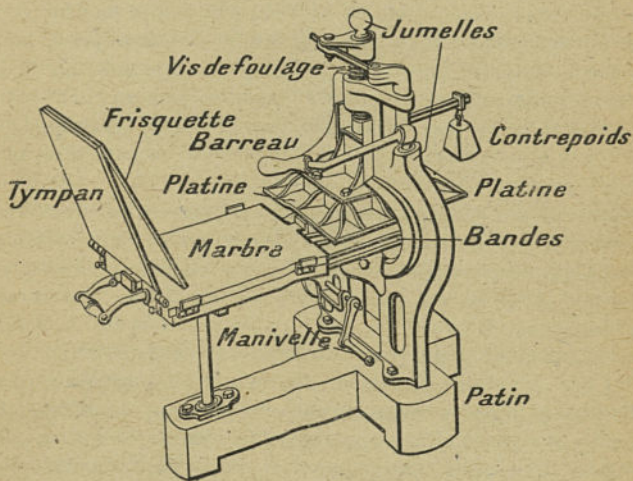


Fig. 452. — Presse à bras.

il n'y a plus qu'à insérer une feuille blanche entre le tympan et la frisquette, en suivant les points de repère, abaisser ce volet sur la forme, faire glisser le marbre sous la platine et actionner la presse; puis recommencer les mêmes mouvements, mais en sens inverse et retirer finalement la feuille imprimée.

Si le verso doit aussi recevoir un texte, il faut recommencer, de l'autre côté de la feuille et en prenant toutes les précautions nécessaires, un second tirage appelé *retiration*.

Les *presses mécaniques* effectuent le même travail rapidement et avec précision : la forme, entraînée par la platine,



vient passer sous un cylindre sur lequel la feuille s'est enroulée automatiquement; l'impression se produit, la feuille va d'un côté, le marbre revient de l'autre et reçoit alors un enduit régulier de la part d'un système de rouleaux encreurs; puis il revient sous une nouvelle feuille et ainsi de suite. Certaines machines, dites *en blanc*, n'impriment que d'un côté; d'autres, dites *en retiration*, garnissent aussi le verso. Les journaux sont imprimés par des machines *rotatives*, à débit considérable, dans lesquelles la composition est *clichée*, c'est-à-dire coulée cylindriquement d'une seule pièce, la feuille se trouve prise, à un certain moment, entre un cylindre de contre-pression et le cylindre imprimeur *recto*, puis elle subit l'action du cliché verso dans des conditions analogues. Ce *clichage* typographique consiste à fabriquer, d'après la composition en caractères mobiles, un moule et un contre-moule d'un seul bloc. Ces moulages se font : soit en papier moite, pressé sur les caractères, puis séché sur forme; soit en gutta-percha ou en cire spéciale. Dans le premier cas, le contre-moule ou cliché, s'obtiendra en coulant dans le moule, ou *flan*, maintenu par une forme cylindrique, un alliage de plomb; dans le second cas, le moule est plombaginé, cuivré par la galvanoplastie, puis renforcé au dos par un coulage de plomb. Dans les grandes machines rotatives actuelles servant au tirage des journaux quotidiens, la feuille de papier, d'une longueur de plusieurs centaines de mètres, se déroule continuellement et vient s'imprimer des deux côtés, à raison de plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires à l'heure. La feuille s'engage ensuite parfois dans une *plieuse mécanique*, d'où les journaux sortent prêts pour la vente ou l'expédition sous bande. Dans les petites installations, ou pour les menus travaux, on se sert d'un modèle de presse, dit à *pédale*, intermédiaire entre celle à bras et les grands appareils mécaniques; la forme est placée verticalement, encrée automatiquement par un rouleau souple, puis une platine mobile, sur laquelle on a déposé la feuille, vient appliquer celle-ci sur les caractères; elle revient ensuite, est débarrassée de sa feuille, en reçoit une autre, et ainsi de suite.

Lorsque l'impression a pour objectif la fabrication d'un livre,

les feuilles, une fois imprimées, sont pliées, constituant ainsi autant de cahiers que l'on coud ensemble, de manière à former un *livre* ; celui-ci est protégé par une couverture qui peut être, soit du papier fort (*brochage*), soit du carton entoilé ou garni de cuir (*reliure*).

## VI. — GRAVURE ET LITHOGRAPHIE

### 1<sup>o</sup> Gravure en taille-douce, ou en creux.

**Principe.** — Une planche métallique est creusée de petites entailles peu profondes, partout où doivent exister des *noirs* dans le dessin à reproduire. Si l'on vient alors à garnir toutes ces cavités avec de l'encre d'impression, à l'exclusion des surfaces restées planes et lisses, qui doivent être bien propres ; si ensuite l'on presse fortement sur cette planche une feuille de papier souple, celle-ci se garnira de noir partout où elle sera en contact avec un creux et l'on aura ainsi un *report* ou reproduction du dessin. Ces creux peuvent s'obtenir, soit *chimiquement*, soit *mécaniquement*.

A) **Gravure à l'eau-forte ou gravure par voie chimique.** — La plaque métallique (cuivre, acier, zinc), bien dressée, est recouverte d'un vernis inattaquable aux acides (bitume de Judée et essence, etc.) ; après dessiccation, on exécute le dessin au moyen d'une pointe fine, en entamant le vernis de façon à faire apparaître le métal sous-jacent. On garnit ensuite la plaque d'un petit rebord de cire, de façon à constituer une cuvette peu profonde dans laquelle on verse de l'acide azotique étendu à 20° Baumé, ou *eau-forte*, qui attaque et dissout le métal partout où il a été mis à nu. Lorsqu'on juge la *morsure* suffisamment avancée, on lave à grande eau, on sèche et on enlève le vernis restant au moyen d'un lavage à l'essence. On peut, s'il en est besoin, renforcer les creux en certains



endroits, par une nouvelle attaque à l'acide, en ayant soin de préserver les autres parties.

La plaque ainsi obtenue peut être achevée, dans ses parties fines et délicates, par un travail complémentaire au burin ou à la pointe. Pour éviter l'usure de la plaque, pendant les tirages, on peut l'*aciérer*, c'est à-dire la recouvrir, par voie galvanique, d'une très légère couche de fer.

B) **Gravure au burin ou en taille douce proprement dite.** — C'est un procédé qui consiste à entamer le métal mécaniquement. L'artiste graveur emploie comme outils un *burin* à deux tranchants, et une *pointe*, analogue à une aiguille très acérée et très dure. Les contours, ainsi que les hachures, sont tracés à la pointe; on entaille ensuite plus profondément au burin.

Ce genre de travail ne se suffit guère à lui-même, car il donne des épreuves dépourvues de vigueur; il convient cependant pour traiter les sujets délicats tels que les portraits, etc.

## 2° Gravure typographique, ou en relief.

**Principe.** — A l'opposé de ce qui précède, les traits du dessin doivent ici apparaître en relief, de telle sorte que, lorsqu'un rouleau encreur passera sur la plaque, celle-ci se chargera uniquement sur les parties épargnées; si l'on vient ensuite à appliquer une feuille de papier, il y aura *report* en tous les endroits qui correspondent aux noirs du dessin. Comme on le voit, ce procédé est très intéressant au point de vue typographique, car la planche gravée peut être insérée dans la forme avec les caractères mobiles et permettra un tirage *simultané* du texte et des figures.

Le creusement des blancs peut se faire, soit mécaniquement (sur bois, métal, pierre, etc.), soit chimiquement (métal, pierre). Comme bois, on prend généralement le *buis*, qui a l'avantage d'être compact, homogène et résistant; on le coupe de façon à ce que ses fibres soient *debout*, c'est-à-dire perpendiculaires à la surface à graver.



Une planche en bois gravée ainsi en *épargne* serait vite mise hors d'usage par un tirage un peu prolongé ; aussi, lui substitue-t-on un *cliché* obtenu par moulage et galvanoplastie et souvent appelé, à cause de cela, tout simplement *galvano*.

### 3<sup>o</sup> Lithographie

**Principe.** — Le dessin est tracé sur une pierre lisse et compacte, soit au crayon gras, soit à la plume garnie d'encre grasse. Cette pierre, calcaire à pâte très fine, non cristalline, dite *calcaire lithographique*, est ensuite traitée par une eau azotique faible, un peu gommeuse, qui corrode légèrement les parties non dessinées et les rend inaptes à prendre l'encre d'imprimerie. On lave ensuite la pierre à l'essence, qui dissout et enlève tous les traits gras, de sorte que le dessin entier semble disparaître ; il n'en est rien, car il reste sur la pierre les traits invisibles que l'encre grasse a protégés de l'action corrosive de l'acide ; aussi, vient-on à mouiller légèrement la pierre, puis à encrer, le noir ne s'attache qu'aux endroits primitivement garnis d'encre et le dessin apparaît de nouveau ; il suffit alors d'appliquer une feuille de papier et de presser pour que le report s'effectue.

Bien entendu, pour que ce report donne un dessin à l'*endroit*, il a fallu écrire ou dessiner à *rebours* sur la pierre, ce qui est une affaire d'habitude ; on peut d'ailleurs s'aider par vision du dessin dans un miroir. Dans la *chromolithographie*, on effectue, sur autant de pierres, des tirages en couleurs que l'on superpose les uns aux autres en prenant les plus grands soins de repérage.

VII. — NOTIONS SUR LA PHOTOGRAPHIE  
ET SES PRINCIPALES APPLICATIONS AUX ARTS  
ET A L'INDUSTRIE

1<sup>o</sup> Photographie.

**Principe.** — La photographie est basée sur l'action qu'exerce la lumière sur certaines substances, notamment sur les sels d'argent. C'est ainsi que, si l'on abandonne au jour un peu de chlorure d'argent, ce corps d'une belle blancheur devient progressivement violet, gris, puis noirâtre ; les effets sont notablement accélérés lorsque le sel d'argent se trouve en présence de divers corps qualifiés de *réducteurs* en chimie, comme les sels ferreux, l'hydroquinone, le métol, l'acide pyrogallique, etc. Le bromure et l'iodure d'argent subissent des effets analogues. La lumière rend encore la gélatine bichromatée insoluble dans l'eau chaude, le bitume de Judée insensible à l'action de l'essence de térébenthine, etc. Au point de vue de la photographie usuelle, c'est surtout l'action de la lumière sur les sels d'argent qui est utilisée.

La reproduction d'un portrait, d'un paysage ou d'un sujet quelconque, comprend deux opérations distinctes : l'obtention d'un cliché *négatif*, ou épreuve dont les tons sont renversés par rapport à ceux du sujet, puis le tirage d'un *positif*, au moyen du cliché précédent.

1<sup>o</sup> **Négatif.** — L'appareil qui permet de l'obtenir s'appelle une *chambre noire* ; il se compose, en principe, de trois parties essentielles :

A) L'*objectif*, système de lentilles convergentes qui, par la déviation qu'il imprime aux rayons lumineux, fournit au fond de la chambre une image réelle, renversée et rapetissée des objets extérieurs (fig. 453) ;

B) Une *plaque sensible* sur laquelle vient se former l'image précédente ;

C) Les *parois opaques* de la chambre, destinées à protéger la plaque sensible contre l'action des rayons lumineux extérieurs autres que ceux qui concourent efficacement à former l'image. Il ne suffit pas que la plaque sensible soit placée à une distance

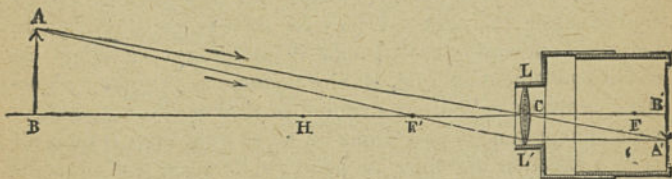


Fig. 453. — Marche des rayons lumineux et formation des images au fond de la chambre noire : le rayon AC, qui passe par le *centre optique* C de l'*objectif*, traverse celui-ci sans éprouver de déviation ; le rayon AF' qui passe par le *foyer antérieur* F' entre suivant L'A' parallèlement à l'axe BCB' ; A'B' est l'*image renversée et rapetissée* de l'objet AB.

quelconque de l'*objectif*, car l'image manquerait alors généralement de netteté ; il y a une position unique pour laquelle cette condition indispensable est remplie, position qui varie d'ailleurs avec celle de l'objet photographié ; il faut donc que la chambre soit à *tirage*, de façon à pouvoir placer la plaque sensible dans la position convenable ; pour trouver celle-ci, on commence par installer, au fond de la chambre, une plaque de verre dépoli qu'on observe extérieurement, en s'entourant d'un voile noir, pour empêcher l'œil d'être ébloui par la luminosité extérieure. Une fois la bonne position trouvée, on dit alors que l'image est *au point*. On est cependant gêné, dans cette appréciation, par ce fait inéluctable que l'image lumineuse que l'on voit n'est pas absolument celle qui agira le plus sur la plaque sensible ; cela provient de ce que la lumière blanche est formée par la réunion d'un grand nombre d'autres lumières colorées — ou *radiations* — analogues à celles que l'on peut observer dans le phénomène de l'arc-en-ciel. Chacune de ces lumières donne, au fond de la chambre, une image particulière qui ne coïncide en position avec aucune des autres ; ainsi les images rouges sont



un peu en arrière de l'image visible, les images bleues et violettes un peu en avant ; or, et c'est là où nous voulons en venir, ce sont précisément ces images bleues et violettes qui sont les plus actives au point de vue photographique ; ce seront donc elles qui détermineront l'impression fondamentale lumineuse de la plaque ; mais ces images ne sont pas bien au point, puisqu'elles se trouvent en avant, donc l'image qui sera obtenue sur la couche sensible ne sera pas dans les meilleures conditions de netteté. Cependant, hâtons-nous d'ajouter que ce défaut est considérablement atténué, éliminé même, par l'emploi d'objectifs complexes et coûteux dénommés *achromatiques*. Supposons donc que nous possédions un tel objectif et qu'il nous ait servi à effectuer une mise au point parfaite (on peut observer l'image à la loupe) sur la glace dépolie ; nous substituerons ensuite à celle-ci la plaque sensible renfermée, bien entendu, pour cette manipulation, dans un *châssis* fermé par un *volet*. Nous boucherons momentanément l'objectif par un *obturateur*, nous mettrons à nu la couche sensible en soulevant le volet par une manœuvre extérieure, puis, ayant les yeux sur notre montre, nous démasquerons l'objectif pendant un *temps de pose* déterminé, en rapport avec l'éclat du ciel, la couleur et l'éloignement du sujet (question très délicate) ; la durée requise une fois écoulée, nous refermerons l'objectif, rabattons le volet et sortirons le châssis de la chambre en le remplaçant par la glace dépolie, de façon à ce que l'appareil soit prêt à resservir pour une prochaine opération.

Dans les appareils à main, à faible distance focale, on n'a pas à se préoccuper de la mise au point, qui est toujours sensiblement réalisée. C'est un immense avantage à un certain point de vue, celui des *instantanés* en mouvement, par exemple, qui peuvent être saisis aussitôt, avec le minimum de préparation préalable ; mais c'est au détriment de l'effet artistique de l'épreuve dont les effets de perspective et de profondeur sont considérablement atténués. Avant d'aller plus loin, donnons quelques indications sur la plaque sensible ; celle-ci est constituée par une plaque de verre sur laquelle on a étendu une mince couche de *gélantino-bromure* d'argent, sorte de combinaison

gélatinée et *mûrie* à base de bromure d'argent. Ces plaques sont fabriquées en grand par des maisons spécialisées et outillées en conséquence ; c'est ce qui a permis l'immense diffusion de la photographie dans le grand public, si l'on songe, qu'autrefois, l'amateur était obligé de confectionner ses plaques lui-même, presque au moment de l'emploi ! Divers appareils utilisent aussi le celluloid comme support de la matière sensible.

**Développement.** — Lorsque la couche sensible a subi, comme on vient de l'indiquer, l'action lumineuse, rien de *visible* n'apparaît à sa surface ; il y a cependant une certaine modification qui a été produite dans la nature de la couche partout où elle a subi l'impact lumineux ; pour exprimer ce fait, on dit que l'image est *latente* ; il suffira, pour la faire apparaître, de la traiter par une de ces substances dont nous avons parlé au début et qu'on appelle un *révélateur* ; celui-ci continuera l'action réductrice amorcée par la lumière et on verra les premiers linéaments de l'image s'estomper, s'accroître ; l'image *monte*, se *développe*, se précise et est bientôt complète ; on arrête alors l'action du révélateur, en enlevant la plaque du bain où on l'avait mise, et en l'immergeant dans l'eau pure. Il est bien entendu que ces opérations de *développement* doivent avoir lieu, sinon dans l'obscurité qui ne permettrait aucune observation ni aucun contrôle, mais dans une chambre éclairée seulement par la lumière *rouge* ou *orangée*. Les formules de développeurs ou de révélateurs sont très nombreuses et indiquées, le plus souvent, par les fabricants de plaques.

**Fixage.** — Il est évident que l'image développée précédente craint la lumière parce que, dans ses *blancs* (qui sont les noirs du sujet) existe encore du sel d'argent sensible. Il faut donc faire disparaître celui-ci en plongeant la plaque, pendant quelques minutes, dans un fixateur ; on emploie exclusivement, dans ce but, une solution d'hyposulfite de soude à 20 ou 25 pour 100. La plaque est ensuite lavée *abondamment*, à l'eau renouvelée, afin d'éliminer toute trace d'*hypo*, puis mise à sécher à *l'abri du soleil* (qui fondrait la gélatine) et des poussières qui feraient des marques ou des trous. On a ainsi un *cliché* ou *négatif* qu'on va pouvoir utiliser pour l'obtention d'un positif.



2<sup>o</sup> *Positif*. — On superpose, gélatine contre gélatine, le cliché et une plaque ou un papier sensibles au gélatino-bromure, ou à tout autre sel d'argent : on place le tout dans un *châssis-presse*, de telle manière que, lorsqu'on exposera celui-ci à l'action lumineuse, la surface sensible du positif soit *derrière* le négatif ; l'impression produira une image *latente* qu'on développera et qu'on fixera par des procédés analogues à ceux qui viennent d'être décrits. On obtiendra ainsi un *positif*, puisqu'il est inversé par rapport au négatif qui a servi à le produire. Les épreuves, obtenues dans les conditions ci-dessus, sont dites *positives par développement*.

On peut aussi obtenir des épreuves par noircissement, ou *impression directe*, en employant une feuille de papier sensibilisée au chlorure ou au citrate d'argent et exposant au châssis-presse jusqu'à ce que l'image apparaisse en noir au ton voulu ; si on la plonge dans le fixateur, elle donne un ton jaune peu agréable ; aussi, fait-on précéder le *fixage* par un *virage* en noir, en immergeant le papier dans un bain de chlorure d'or neutralisé, jusqu'à ce que le ton devienne violet.

On fait aussi des épreuves au *platine* ou au *charbon*, qui sont inaltérables. Par exemple, pour obtenir une épreuve au charbon, on expose à la lumière, derrière le cliché, un papier gélatiné imprégné de bichromate de potassium et de charbon pulvérisé. Sous l'action de la lumière, la gélatine bichromatée devient, comme nous l'avons dit, insoluble dans l'eau chaude ; il suffira donc de plonger l'épreuve dans un bain d'eau à température convenable, toutes les parties insolées (correspondant aux blancs du négatif, donc aux noirs du sujet) demeurent insolubles, emprisonnent le charbon et apparaissent en noir.

Ajoutons que, depuis un certain nombre d'années, on est parvenu à reproduire les couleurs par la photographie. Les principaux procédés sont : 1<sup>o</sup> le procédé *interférentiel* de Lippmann, qui est parfait dans ses résultats mais d'application très délicate ; 2<sup>o</sup> le procédé *trichrome*, par superposition de trois épreuves colorées et répérées ; 3<sup>o</sup> le procédé des plaques *autochromes*, de Lumière, qui est en quelque sorte comme la *mosaïque* du précédent, et divers autres systèmes.



## 2<sup>o</sup> Applications aux arts et à l'industrie. Procédés photomécaniques.

La photographie peut être utilisée à la reproduction industrielle d'une image à un très grand nombre d'exemplaires. Comme le but de tous les procédés est toujours l'obtention d'un cliché qu'on puisse encrer et presser, on comprend toutes ces applications sous le nom générique de procédés *photomécaniques*.

Nous laisserons de côté les procédés peu employés, ou tombés en désuétude, et nous nous bornerons à quelques indications succinctes sur la photocollographie et la phototypogravure au trait, ou à teintes dégradées.

1<sup>o</sup> **Photocollographie.** — Cette méthode, anciennement dénommée phototypie, consiste à tirer, au moyen du négatif, une épreuve positive sur plaque gélatinée-bichromatée. Si l'on vient à mouiller celle-ci légèrement, l'eau imprègne seulement les parties qui n'ont pas subi l'action lumineuse et laisse sèches celles qui l'ont reçue (sous les *blancs* du cliché, correspondant aux *noirs* du sujet); en passant alors, sur cette plaque ainsi traitée, un rouleau garni d'encre grasse, celle-ci *prendra* uniquement aux endroits secs, c'est-à-dire aux noirs du sujet et cela en proportion de leur teinte, de sorte qu'on obtiendra une épreuve à *modèle continu*.

2<sup>o</sup> **Phototypogravure.** — La phototypogravure permet d'obtenir, sur zinc ou cuivre, des clichés en relief qui peuvent s'imprimer à la presse typographique, en *même temps que le texte*, ce qui est un immense avantage.

On distingue deux procédés différents comme résultat : l'un, dit *procédé au trait*, ou simplement *procédé*, ne permet d'obtenir que des contours, sans demi-teintes; l'autre, dénommé *simili-gravure*, ou *simili*, fournit des épreuves avec teintes dégradées, comme une photographie ou un tableau.

A) **Procédé au trait.** — Le dessin à reproduire ayant été

exécuté au trait noir, sur papier un peu fort (papier bristol) et

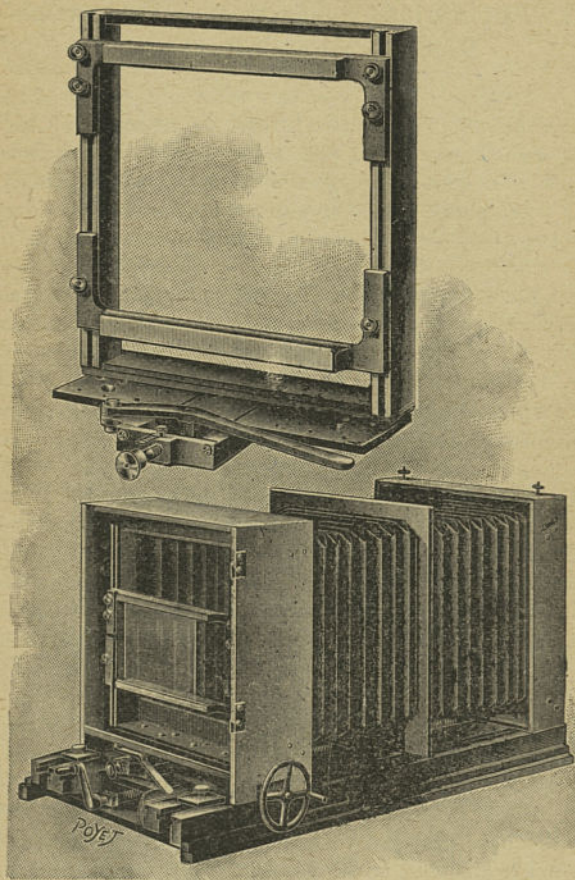


Fig. 454. — Appareil pour *simili* et *procédé*.

à une échelle assez grande, est placé devant un appareil photographique à tirage (fig. 454) dont la chambre est garnie d'une

plaque sensible formée par une lame de verre supportant une pellicule de *collodion* imprégnée d'un sel d'argent (le collodion donne des épreuves plus fines que la gélatine). On obtient ainsi, après les opérations usuelles de développement et fixage, un *négatif* du sujet. On va procéder maintenant au *pelliculage* de ce cliché, c'est-à-dire qu'on va le dépouiller de sa pellicule sans

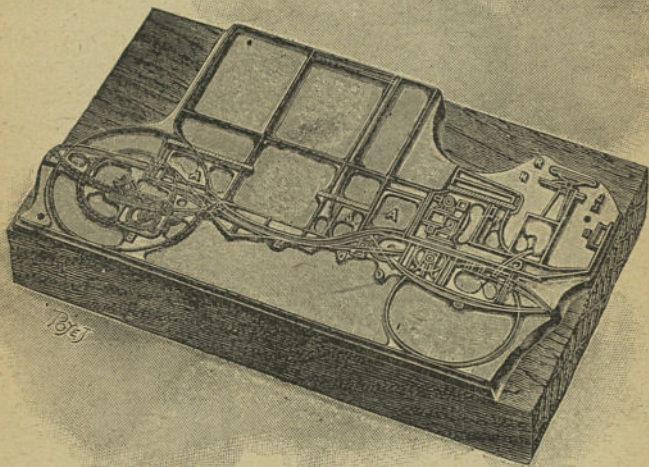


Fig. 455. — Cliché au trait, tout monté.

la détériorer ; dans ce but, celle-ci est enduite d'une solution de caoutchouc dans la benzine et, après séchage, on dépose une couche de collodion ; on peut ensuite détacher la pellicule qui se maintient parfaitement, sans se rouler, et qui va servir à préparer un cliché sur zinc. Pour cela, on dépose, sur une plaque de zinc bien planée, une couche de *bitume de Judée* ; après dessiccation à l'*obscurité*, on lui superpose la pellicule précédente et on expose à la lumière ; celle-ci traverse les *clairs* du négatif et insolubilise le bitume, de sorte que si, maintenant, on plonge la plaque dans l'essence de térébenthine, le bitume va



être enlevé sous les noirs du cliché et restera sous les clairs (lesquels correspondent aux noirs du sujet); la plaque est ensuite *mordue* à l'eau forte : elle va se creuser partout où le bitume est absent et présentera alors en *relief* tous les linéaments du sujet. On aura ainsi un véritable cliché utilisable en typographie (fig. 455).

B) **Simili-gravure.** — Les teintes dégradées sont obtenues par l'emploi de *trames* ou réseaux doubles (encore appelés *réseaux américains*), formés par la superposition de deux glaces croisées portant chacune un fin réseau de lignes parallèles gravé sur l'une de leurs faces. Le dessin à reproduire est photographié sur collodion comme dans le *procédé* précédent, mais avec interposition de la *trame*, à l'intérieur de la chambre noire, entre l'objectif et la plaque sensible; d'où il résulte que le négatif portera la photographie du sujet avec l'*ombre* du réseau; toutes les teintes se trouveront alors transformées en un quadrillage dont la *densité* de ton est fonction de celle du sujet. La suite des opérations, c'est-à-dire l'obtention du cliché sur zinc, est analogue à celle qui a été décrite dans le *procédé* (pelliculage, insolation, morsure acide). La figure 456 donne une idée des effets que l'on peut obtenir par cette méthode.

**Considérations générales sur la photogravure; langage et terminologie.** — Les expressions usitées dans les arts de la photogravure sont assez nombreuses et il est utile de donner quelques indications à cet égard. On donne le nom de *phototype* à toute image obtenue directement à la chambre noire au moyen de l'objectif photographique. Ce phototype est dit *positif* s'il est en tous points semblable à l'original relativement à la distribution des ombres et des lumières, *négatif* (ou *cliché*) dans le cas contraire, c'est-à-dire si les parties claires du sujet sont remplacées par des ombres et inversement; nous dirons alors, dans ce cas, que le négatif est optiquement inverse de l'original.

Certaines méthodes photographiques permettent d'obtenir directement à la chambre noire des phototypes positifs. Citons l'ancien procédé dit *daguerrotypé* (du nom de son inventeur Daguerre), qui donne sur plaque d'argent iodurée, développée

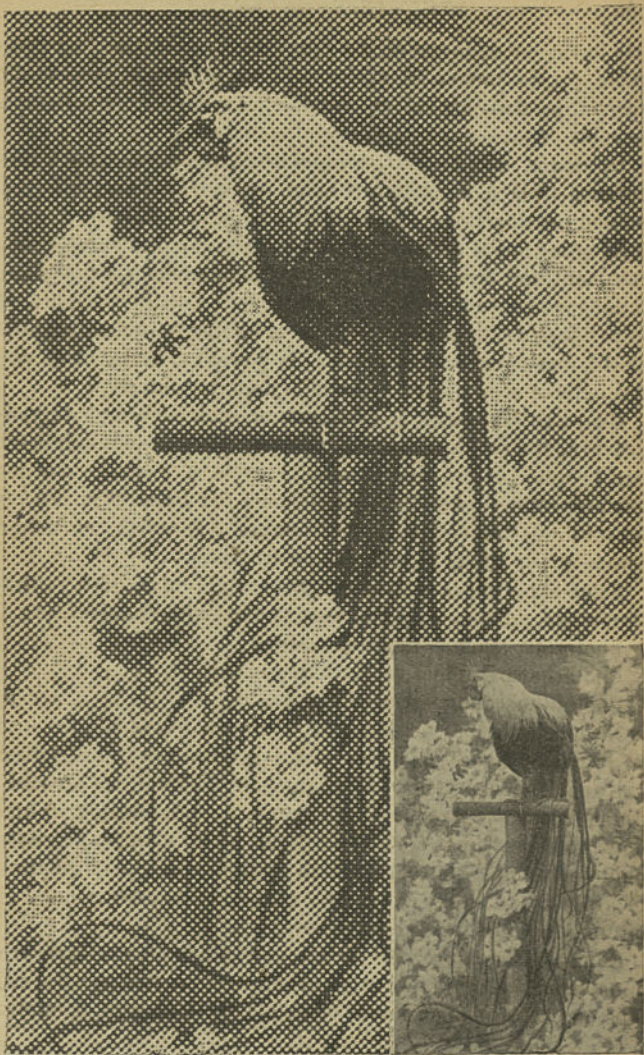


Fig. 433 - Agrandissement d'une photographie simili.  
IRIS - LILLIAD - Université Lille



par la vapeur de mercure, des épreuves d'une finesse incomparable qui n'a jamais été égalée<sup>1</sup>. Citons encore le procédé dit *ferro-type* dans lequel on emploie une couche de collodion sensible déposée sur une mince plaque de tôle.

On donne le nom de *photogramme*, ou *photocopie* à une épreuve tirée à la chambre noire au moyen d'un phototype obtenu préalablement. Si le photogramme est *positif*, c'est-à-dire optiquement semblable au sujet original, on l'appelle couramment une *épreuve positive*, ou simplement *épreuve* dans le langage courant des photographes dont c'est la spécialité de faire des portraits pour le public. Si le photogramme est négatif, c'est-à-dire optiquement inverse de l'original au point de vue des ombres et lumières, il prend le nom de *contretypé*.

Quant à l'expression de *photogravure*, ou encore phototypogravure, elle sert à désigner l'ensemble des procédés qui, basés sur l'emploi de la photographie, servent à produire sur des surfaces solides, planes ou cylindriques, des gravures ou *clichés* servant au tirage d'un grand nombre d'épreuves, en même temps que le tirage typographique du texte.

Selon la nature de la matière gravée : zinc, cuivre, pierre lithographique, on adopte les expressions particulières suivantes :

- Photozincographie, gravure sur zinc ;
- Photochalcographie, gravure sur cuivre ;
- Photolithographie, gravure sur pierre.

Nicéphore Niepce est l'un des premiers initiateurs des arts de la photogravure appliquée aux reproductions industrielles.

L'ancienne expression de *phototypie* désignait les procédés réunis maintenant sous l'appellation de *photocollographie*, dont nous avons parlé au début de ces notions sur les procédés photomécaniques de reproduction et où, à côté de la gélatine bichromatée, d'autres colloïdes, comme l'albumine, et aussi le bitume de Judée, peuvent être employés.

Enfin l'*héliogravure* est un cas particulier de photogravure dans lequel les noirs de l'original sont représentés par des sillons ou *creux* plus ou moins profonds de la planche de métal

1. Malheureusement, ces photographies sont miroitantes et leur obtention exige des manipulations qui ne sont pas accessibles au commun public.



qui sert au tirage, absolument comme dans la gravure au burin, ou *taille-douce*. Ce procédé diffère beaucoup de celui dit *en relief* dont nous avons parlé sous les noms de *procédé au trait* et *simili-gravure* tramée; aussi allons-nous en indiquer le principe après avoir, auparavant, complété ce que nous avons déjà dit par quelques éclaircissements sur le *pelliculage* des négatifs, ce qui nous permettra d'aborder plus aisément l'exposé du procédé dit *en creux*.



Fig. 457. — Notre original, ou prototype.

**Nécessité du pelliculage dans le procédé « en relief ».** — Les procédés de photogravure dont il a été question au début de ce chapitre, soit pour le simple trait, soit pour les demi-teintes, exigent une opération, dite *pelliculage*, du phototype négatif dont il est bon de montrer la raison d'être.

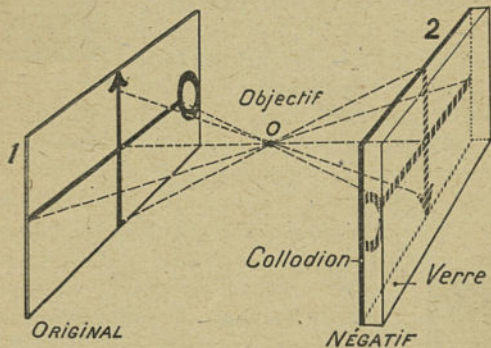


Fig. 458. — Obtention du négatif sur collodion, à la chambre noire; schéma-optique.

Pour simplifier, bornons-nous au procédé au trait, ou *procédé tout court*; nous supposons qu'il s'agit de reproduire un original consistant en une croix noire offrant les repérages suivants: la branche verticale est terminée par une pointe à sa partie supérieure, la branche horizontale supporte un anneau

à sa droite (figure 457). Conformément aux explications données antérieurement, nous avons d'abord photographié ce dessin à la chambre noire sur collodion sensible, opération qui peut être représentée schématiquement par la



Fig. 459. — Côté dos du négatif, vu par le dos, ou côté verre de la plaque.

figure 458 où O est le centre optique de l'objectif. L'original est numéroté 1; l'image se forme sur la face collodionnée *avant*, c'est un phototype négatif que nous numérotons 2; la figure 459 le représente vu par le côté *dos*, ou verre de la plaque; la figure 460 est l'aspect sous lequel il se présente quand on le regarde de face, l'œil placé à l'objectif, par exemple, et voyant ainsi directement la couche sensible. Remarquons que l'image a subi un double changement optique et géométrique :

a) *Optique*; elle est inversée comme tons, lumières et ombres : la croix noire de l'original s'est transformée en croix blanche, ou plutôt transparente, le fond blanc du bristol est devenu noir.

b) *Géométrique*; l'image est renversée dans tous les sens, de haut en bas et de droite à gauche. En employant le langage de la géométrie, on dit qu'elle est homothétique de l'original par similitude inverse, le centre d'homothétie étant l'objectif. Et alors, si nous faisons pivoter d'un demi-tour le négatif, vu suivant la figure 460, autour d'un axe perpendiculaire à la feuille de papier, nous obtenons l'aspect représenté figure 461; la pointe est bien en haut comme sur l'original, mais l'anneau est à gauche au lieu d'être à droite.

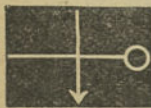


Fig. 461. — Côté face du négatif, vu de l'objectif après pivotement de 180°, ou un demi-tour autour de l'axe optique.



Fig. 460. — Négatif vu de l'objectif, ou par la couche sensible, ou encore côté face.

Supposons maintenant que, dans le procédé au trait, on veuille se dispenser du pelliculage, on appliquerait simplement le négatif 2 (figure 458) sur une plaque de

zinc ou de cuivre recouverte de bitume de Judée, comme le représente la figure 462. Ensuite, procédant à l'impression lumineuse (ou insolation) puis au développement par lavage à la térébenthine et enfin à la morsure acide, le bitume ayant été insolubilisé sous la croix blanche du négatif, préservera le métal de l'attaque ; ces blancs du négatif, qui sont les noirs de l'original, resteront *en relief*, et ce sont eux qui noirciront

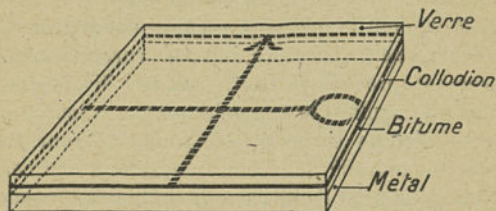


Fig. 462. — Application du côté face du négatif sur la plaque bituminée.

par l'encrage au rouleau : l'épreuve sera alors, comme l'original, trait noir sur fond blanc ; la tonalité optique est conservée, mais cela ne suffit pas, car il faut aussi que le dessin soit conforme géométriquement à l'original. Or cela n'est pas ; en effet, l'opération précédente d'application du négatif sur la planche métallique nous a fourni le résultat suivant (figure 463 partie gauche) ; nous encrons puis appliquons une feuille de papier et pressons : la feuille a pris l'encre des reliefs et, une fois levée et retournée, elle offre l'aspect de la partie droite de la figure 463 ; l'épreuve est inversée géométriquement par rapport à l'original, la droite est à gauche, exactement comme la trace d'une écriture fraîche sur un papier buvard. On se rend ainsi

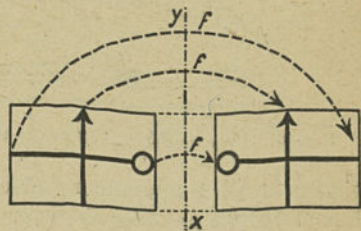


Fig. 463. — Tirage de l'épreuve définitive ; celle-ci est conforme optiquement, mais non géométriquement, à l'original : elle est inversée de droite à gauche.



compte de la nécessité qu'il y a de modifier l'une des opérations précédentes : c'est ce à quoi l'on parvient par le *retournement du cliché* lorsqu'on procède à l'impression lumineuse sur la plaque bituminée ; mais, comme le verre qui sert de support à la gélatine du cliché est épais et peu régulier, il n'y a pas à songer à l'interposer entre le bitume et la couche de collodion du négatif, les images seraient absolument défectueuses et *floues* ; il faut donc enlever le collodion de son support de verre ; c'est le *pelliculage*, dont la nécessité est ainsi démontrée.

Ce pelliculage peut s'effectuer, soit par le procédé déjà indiqué antérieurement (procédé au trait), soit par divers autres, tels que le suivant, applicable à la gélatine. Le cliché est plongé dans une solution de carbonate de soude à 5 pour 100 additionnée de 20 pour 100 de formol, destiné à donner de la fermeté à la gélatine et l'empêcher de se dilater lorsqu'elle sera détachée de son support ; ensuite, après séchage, le cliché est incisé à petite distance des bords et plongé pendant quelques

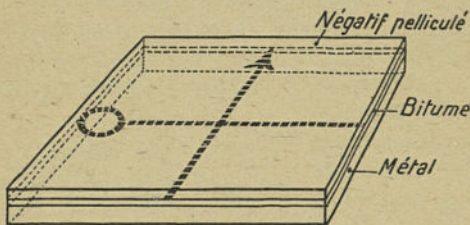


Fig. 464. — Application du côté dos du négatif sur le métal bituminé.

minutes dans une solution faible d'acide chlorhydrique à 10 pour 100. La présence coexistante de l'acide et du carbonate a pour effet de produire un dégagement de gaz carbonique qui soulève la pellicule et la sépare du verre. On reçoit cette pellicule sous l'eau sur une glace talquée et collodionnée, on passe dessus un rouleau pour obtenir un contact plan bien régulier, on sèche, puis on recollodione et on sèche ; la pellicule se détache alors très facilement de son support provisoire de verre.

Revenons à notre tirage. Pour impressionner la plaque sen-

sible zinc bituminé, on appliquera donc sur celle-ci la pellicule *retournée*, c'est-à-dire qu'on mettra à l'extérieur le côté qui faisait face à l'objectif lors de son tirage à la chambre, tandis que le côté *dos* (ou verre) sera en contact avec le bitume (fig. 464). Ensuite, après développement, morsure, encrage, impression et enlèvement de la feuille (qui se retourne), on obtiendra le résultat indiqué par la figure 465, à droite. On voit que ce dessin est bien à l'endroit et conforme à l'original optiquement et géométriquement.

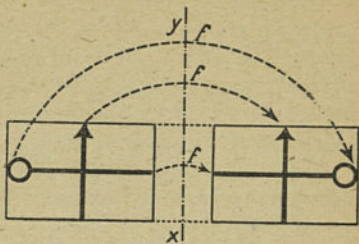


Fig. 465. — Tirage de l'épreuve définitive ; celle-ci est conforme à l'original, optiquement et géométriquement.

### PROCÉDÉ DE PHOTOGRAVURE EN CREUX

Tandis que, dans le mode opératoire précédent, les traits noirs du dessin sont fournis par les *reliefs* du cliché typographique, le procédé dit en *creux* consiste au contraire à faire correspondre à ces traits noirs des sillons plus ou moins larges et profonds de la plaque métallique ; ces sillons sont remplis d'encre assez fluide, tandis que les fonds blancs du sujet, représentés par les reliefs polis, restent nus grâce au jeu d'une *raclette* flexible qui nettoie parfaitement ces reliefs et empêche la production d'un voile gris sur les blancs. En appliquant ensuite sur le métal (plaque ou cylindre) une feuille de papier souple, et pressant suffisamment, le papier happe l'encre des creux et les vide ; enlevant ensuite la feuille, celle-ci sort marquée du dessin.

Comme on le voit, l'idée n'est pas nouvelle : elle est aussi vieille que la gravure au burin (taille-douce) telle qu'elle est pratiquée pour le tirage des cartes de visite gravées, ou que la



gravure à l'eau-forte, et elle a été appliquée depuis longtemps à l'impression des étoffes et des papiers peints. Ces procédés de gravure en creux au moyen de la photographie sont parfois désignés sous le nom de *photoglyptographie* (*phos*, lumière; *gluptos*, gravé), mais plus généralement sous celui d'*héliogravure*, quoique ce terme ait été aussi employé comme synonyme général de photogravure par quelques spécialistes. Le liquide chimique capable de mordre et dissoudre le métal peut être l'*eau-forte* (acide azotique à un degré convenable de dilution), mais ce corps corrosif est commodément remplacé actuellement par un autre, inoffensif, qui est une solution aqueuse de chlorure ferrique, ou perchlorure de fer, répondant à la formule chimique  $\text{FeCl}_3$  (ou  $\text{Fe}^2\text{Cl}^6$ ), et qui est utilisé pour arrêter les saignements de nez. Quant à la substance destinée à protéger le cuivre sous les blancs, elle n'est autre que la gélatine bichromatée dont il a été déjà question à propos de la photocollographie (voir au début de ce chapitre); mais la propriété utilisée maintenant est autre que celle indiquée antérieurement, elle consiste en ceci : la gélatine sensibilisée par imprégnation de bichromate de potassium (formule chimique  $\text{Cr}^2\text{O}^7\text{K}^2$ ), séchée à l'obscurité et insolée sous un négatif perd la faculté de pouvoir se dissoudre dans l'eau tiédie à 35-40°; en un mot, elle est *insolubilisée*. Il faudra donc, puisque les traits noirs du sujet doivent être en creux sur la plaque, que celle-ci soit mise à nu et attaquée sous lesdits traits, donc que la gélatine n'y soit pas insolée, donc enfin que ces traits aient été protégés de l'action de la lumière par l'application sur la gélatine sensibilisée d'un *positif* (tandis que, dans le procédé en relief, on appliquait un *négatif* pelliculé sur le bitume). Ceci montre bien la nécessité, dans le procédé *en creux*, d'une opération photographique supplémentaire : celle qui consiste à tirer du négatif d'abord obtenu (figures 467 et 468) un positif, ou *diapositif*, destiné à impressionner ensuite la gélatine. Mais, si l'on tirait ce dispositif dans les conditions ordinaires, on obtiendrait purement et simplement une épreuve positive semblable en tous points à l'original, optiquement et géométriquement, comme les photographies ordinaires, telles que les portraits



connus du public. Or, ce résultat ne convient pas ici ; en effet, la gélatine sensibilisée ne peut être déposée directement sur le métal, mais doit tout d'abord être étendue en couche régulière sur du papier et colorée par l'incorporation d'un pigment (noir de fumée pour les papiers ordinaires dits *au charbon*, colorant rouge pour l'impression qui nous occupe) avec addition d'une proportion convenable de bichromate de potassium dissous ; ce papier prend le nom de *papier pigmenté*, ou encore, par extension du sens des mots, de *papier charbon*, quoiqu'il ne soit pas noir. C'est ce papier qui, une fois impressionné sous le diapositif, sera appliqué sur le cuivre, *gélatine contre métal* ; ensuite, la couche de cellulose formant le papier proprement dit sera enlevée doucement après immersion convenable dans l'eau tiède.

Voyons alors ce qui va en résulter relativement au sens de l'image finale. Partons d'abord du positif supposé *direct*, c'est-à-dire de même sens que l'original, ce qui reviendrait à appliquer celui-ci après l'avoir rendu transparent. Il faut pour cela le retourner, de sorte que l'impression sur la face supérieure de la gélatine va être inversée, exactement comme une ligne d'écriture sur le papier buvard qui a servi à la sécher ; le papier pigmenté étant ensuite collé sur le cuivre, gélatine contre métal, il va en résulter un nouveau retournement, de sorte qu'une fois le papier enlevé, l'image gélatinée va être directe ; ensuite, après développement, morsure et encrage, puis enfin impression du papier de tirage, celui-ci présentera bien une image positive mais inversée géométriquement, c'est-à-dire retournée par rapport à l'original.

Il faut donc faire *un retournement de plus* dans le cours des opérations précédentes : il a lieu durant l'obtention du diapositif ; celui-ci doit être tiré non pas droit, ou de sens direct, mais à *l'envers*, c'est-à-dire inversé géométriquement par rapport à l'original, ce qui se fait à la chambre noire en tournant la face *arrière* du négatif pelliculé (c'est-à-dire la face qui était contre le *verre* de la plaque) du côté de l'objectif O (fig. 466) et de la plaque sensible qui doit fournir le diapositif. On a bien cherché à obtenir de suite des positifs inversés sans passer par

l'intermédiaire des négatifs mais, jusqu'à présent, les résultats n'ont pas été satisfaisants en ce qui concerne la gravure en creux.

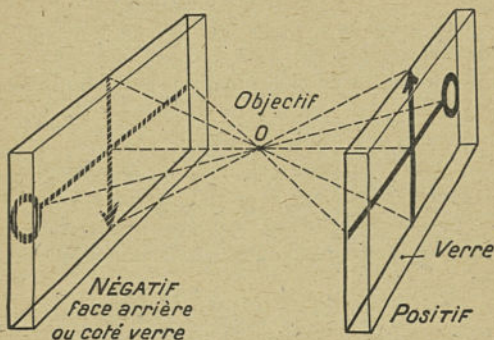


Fig. 466. — Tirage du positif inversé géométriquement, au moyen du négatif retourné (pelliculé).

Après cet exposé des principes, nous pouvons résumer de la manière suivante l'ensemble des opérations successives à effectuer pour la reproduction d'un dessin au trait, ou même d'un texte :

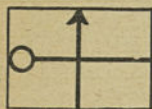


Fig. 467. — Positif obtenu (vu de face, c'est-à-dire vu de l'objectif). Il est inversé géométriquement.

1<sup>o</sup> Photographier l'original (retouché au besoin), ce qui fournit un négatif. Pour les objets colorés, il sera bon d'employer des plaques dites *panchromatiques*, qui rendent la valeur exacte des teintes.

L'image est renversée géométriquement et inversée optiquement, c'est-à-dire que les blancs viennent en noir et réciproquement.

2<sup>o</sup> Pelliculer, c'est-à-dire détacher la couche de gélatine du négatif de son support de verre (voir antérieurement le mode opératoire, deuxième méthode indiquée).

3<sup>o</sup> De ce négatif tirer, à la chambre noire, un positif à l'envers, donc renversé géométriquement ; dans ce but, tour-

ner la face arrière du négatif, celle qui était contre le verre, du côté de l'objectif O et de la couche sensible de la plaque diapositive à obtenir, comme l'indique la figure 466. Le positif obtenu est représenté vu de face figure 467 et vu de dos figure 468.

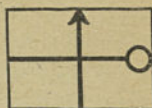


Fig. 468. — Application du diapositif sur la face gélatinée du papier pigmenté.

REMARQUE. — On pourrait se dispenser de pelliculer et conserver le négatif sur son support de verre en tournant celui-ci du côté du diapositif à obtenir ; mais dans ce cas, pour que les images conservent leur entière netteté, il faudrait éviter les déformations dues à des réfractions locales, ce qui exigerait que les deux faces de la plaque de verre fussent parfaitement planes et rigoureusement parallèles, ce qui n'est jamais réalisé.

4° Impressionner par la lumière le papier pigmenté gélatinochromaté en appliquant exactement au châssis-presse ce positif inversé sur la couche de gélatine. La question du temps de pose est délicate et demande une grande habitude professionnelle.

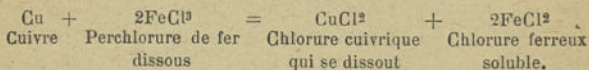
5° Ramollir légèrement le papier pigmenté par immersion dans l'eau froide pendant environ une minute et le coller sur le cuivre (plaque ou cylindre) ; passer dessus légèrement un rouleau souple pour chasser les bulles d'air et éviter les contacts imparfaits ; dépouiller et développer l'image à l'eau tiède un peu chaude (température : 35° pour les gravures, 40° pour le trait et les textes) ; lorsque le pigment et la gélatine commencent à passer à travers le papier, détacher doucement celui-ci ; continuer le dépouillement, les parties noires se dissolvent d'abord, vient ensuite le tour des demi-teintes (mais partiellement), tandis que les clairs restent presque intacts. L'image revêt alors une apparence analogue à celle d'un *négatif en léger relief*. Ensuite sécher à une douce chaleur (éviter la fusion de la gélatine).

6° Morsure du métal par la solution de perchlorure de fer marquant comme densité, 41 degrés à l'aréomètre de Baumé, et chauffé à la température de 20° centigrades ; agiter le liquide.



Le perchlorure pénètre dans la gélatine en subissant une atténuation de pouvoir corrosif et un retard d'action d'autant plus considérables que l'épaisseur de la couche protectrice est plus grande au point considéré. Ces sont précisément ces différences d'action qui permettent d'obtenir, non seulement de simples traits, mais aussi des demi-teintes, comme cela va être expliqué par la suite, en se servant de *trames*.

Au point de vue chimique, la réaction du perchlorure sur le cuivre est représentée par l'équation suivante :



La profondeur de la morsure est de l'ordre de un dixième de millimètre ; quand elle est suffisante, et que les détails sont venus, s'il s'agit d'un original à demi-teintes, on arrête l'action corrosive du liquide par l'addition d'une solution de carbonate de sodium ; puis on enlève la gélatine au moyen d'eau très chaude ; on laisse sécher, on nettoie et on polit doucement en frottant avec une pâte à brillanter *ne rayant pas*.

7° Encreur et râcler. La râcllette est une lame mince d'acier très flexible, de deux à trois dixièmes de millimètre d'épaisseur, qui enlève l'encre en excès et maintient les parties nues parfaitement propres de façon à avoir des blancs non voilés de gris.

8° Appliquer le papier souple et presser : le papier happe l'encre des creux ; puis relever la feuille. La figure 469 représente : à gauche, la planche gravée avec ses creux garnis

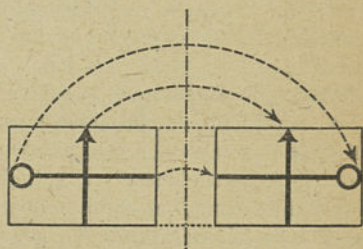


Fig. 469. — Tirage de l'épreuve définitive. — A gauche, aspect de la gravure sur métal résultant de la morsure, après application et retournement de la gélatine bichromatée. A droite, épreuve après enlèvement du papier : elle est semblable, optiquement et géométriquement, à l'original.

d'encre ; à droite, la feuille de papier relevée après impression et montrant le dessin conforme à l'original sous tous les rapports.

La figure 470 représente schématiquement la disposition du matériel de tirage : C est le cylindre gravé (héliogravure rotative), encré par le rouleau E qui plonge continuellement dans l'encre ; R est la râquette flexible qui nettoie le cylindre ; enfin P est le rouleau qui presse le papier (non figuré) sur le cylindre C.

### Gravures à demi-teintes ou à modelé continu.

— Les opérations sont analogues à celles qui viennent d'être décrites mais, comme pour le *simili*, il faut faire intervenir une trame destinée à répartir les demi-teintes en proportion de leur intensité.

Les manipulations 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> sont d'abord les mêmes que pour le simple trait mais, à partir de 4<sup>o</sup>, on commence par exposer la feuille pigmentée sous la trame, puis ensuite sous le diapositif inversé dont il a été question. On pourrait aussi, plus rapidement, interposer la trame entre le négatif et la plaque diapositive pendant l'opération 3<sup>o</sup> et obtenir ainsi un diapositif tramé tout prêt à servir et à impressionner le papier charbon, mais cela empêcherait, le cas échéant, de pouvoir faire sur le positif des retouches parfois nécessaires, à cause de la présence du réseau régulier de la trame. On continue ensuite comme pour le trait.

Quand le cylindre n'a plus à servir, on le polit pour enlever la gravure et il est alors prêt à recevoir une nouvelle morsure. Au bout d'un certain temps, pour compenser l'usure, on le recouvre de cuivre par les procédés de la galvanoplastie.

L'impression en creux a devant elle un grand avenir, à côté

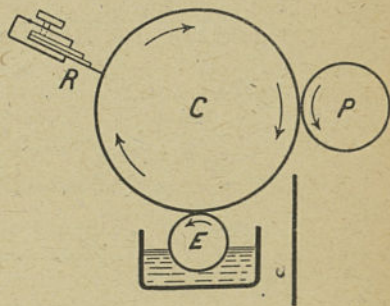


Fig. 470. — Schéma de l'appareil de tirage.

des autres procédés déjà existants, sans cependant se substituer nécessairement à eux ; elle permet en effet de tirer à un nombre extrêmement élevé d'exemplaires, car les plaques et cylindres gravés fatiguent peu, précisément parce que les noirs sont en creux, donc moins fragiles, moins émoussables que les reliefs.

---



# TABLE DES MATIÈRES

---

## CHAPITRE I

### INDUSTRIES EXTRACTIVES.

I. — Préliminaires — Classification des industries . . .	1
Carrières, matériaux de construction . . . . .	5
II. — Mines et minières. — Substances salines et engrais .	20
Combustibles solides et liquides . . . . .	27
Minerais, gites métallifères, amas et filons . . . . .	47

## CHAPITRE II

### INDUSTRIES PRÉPARATOIRES.

I. — Matériaux de construction artificiels : plâtre, chaux, ciments, pouzzolanes, briques et tuiles . . . . .	52
II. — Combustibles artificiels : gaz, coke, charbon de bois .	65
III. — Fer et ses dérivés : fontes et aciers . . . . .	82 à 142
Obtention de la fonte, haut fourneau . . . . .	82
Propriétés des diverses fontes, fontes spéciales . . .	95
Affinage de la fonte, puddlage, fer doux . . . . .	99
Propriétés mécaniques du fer; fers marchands . . .	106
Élaboration de l'acier : acier de cémentation, acier fondu, acier harveyé, acier puddlé . . . . .	113
Convertisseur Bessemer, acide et basique . . . . .	117
Procédés Martin Siemens . . . . .	122
Propriétés et usages de l'acier, trempe, recuit. . . .	128
Electro-métallurgie, houille blanche, houille verte, fonte synthétique . . . . .	139

## CHAPITRE III

## TRAVAIL DES MÉTAUX ET DU BOIS.

I. — Propriétés mécaniques de la matière ; ses modes de déformation et procédés de travail : coupage, forage, burinage, rabotage, limage, grattage, moulage, forgeage, étampage et estampage, martelage, laminage, emboutissage, étirage et tréfilage . . .	145
II. — Fonderie, moulage en châssis, en coquilles, au trousseau, à cire perdue. . . . .	154
III. — Forgeage. — Petite forge, étampage. . . . .	162
Soudure, brasure ; exemples de petits travaux de forge . . . . .	170
Grosse forge, étampage, mandrinage . . . . .	175
Laminage, rivetage, pressage hydraulique, emboutissage et estampage, frappe des médailles, gabariage, harveyage . . . . .	177
Étirage et tréfilage, jauges diverses . . . . .	184
IV. — Outils et machines-outils. — Considérations générales, instruments de traçage et de vérification. . .	186
Outils de serrage et supports . . . . .	194
Tour à pédale, poupées, toc, mandrins, etc . . . .	196
Outils simples : burins, ciseaux, bédanes, gouges, maillets, varlopes, riflards, rabots, guillaumes, cisailles, tranchets, mèches ou forets, foreuses, archet, conscience, drille, fût à rochet, alésoirs, équarrissoirs . . . . .	200
Outils à fileter, hélice, filières, tarauds, peignes . .	209
Outils composés : limes, fraises, toupies, scies . .	213
Outils et instruments à affûter, meules, pierres à morfiler ; polissage, colcothar, gratte-bossage . .	217
V. — Machines-outils. — Tour parallèle et à charioter, lunettes, tour en l'air, tour à singer, à décolleter. Généralités sur les diverses machines-outils, leur composition et leur fonctionnement. — Travail et force vive, résistances passives, mouvement perpétuel .	219
Raboteuses et étaux-limeurs, cisailleuses, perceuses .	227
Fraiseuses, toupies, machines à cintrer et à courber.	230
Scies mécaniques ; débitage et cubage des bois . .	232
V. — Fabrications diverses : clouterie, ustensiles de ménage,	

petite chaudronnerie, emboutissage, fer battu, soudage et rivetage. . . . .	236
Serrurerie, coutellerie, armes blanches . . . . .	243
<i>Armes à feu</i> ; artillerie, canons, généralités . . . . .	257
1° Le projectile et ses effets; trajectoire, obus, fusées. Effets spéciaux des explosifs; fabrication des obus. . . . .	259
2° La trajectoire, considérations géométriques et mécaniques; dispersion et probabilité du tir . . . . .	268
3° Le canon; canons longs ou courts, obusiers. Canon de 75; frein, culasse, pointage, mécanisme, mitrailleuses . . . . .	273
4° Notions sur la fabrication des canons. . . . .	282
Armes portatives: fusils et pistolets. . . . .	290
VI. — L'aéroplane et son moteur. — 1° La <i>cellule</i> , description, sustentation, forces en jeu . . . . .	302
Influence de l'incidence, montée et descente . . . . .	306
Empennage et stabilité longitudinale, plafond de l'appareil, descente planée, atterrissage . . . . .	319
Virages; force centripète, force centrifuge; virage d'une automobile, dérapage; chemin de fer, navire, aéroplane. . . . .	325
Perfectionnements à la cellule et au corps de l'appareil. . . . .	328
2° Le <i>moteur</i> ; principe du moteur à explosion; moteur d'aviation . . . . .	338
	342

## CHAPITRE IV

## INDUSTRIES CHIMIQUES.

I. — Acides commerciaux. — Acide sulfurique . . . . .	363
Acide azotique. . . . .	379
Fixation de l'azote atmosphérique: acide nitrique et ammoniaque de synthèse. . . . .	381
Obtention en grand de l'azote et de l'hydrogène . . . . .	391
Acide chlorhydrique . . . . .	397
II. — Soudes et potasses . . . . .	399
III. — Amidonneries et féculeries . . . . .	404
IV. — Huiles et corps gras . . . . .	414
Savons et bougies. . . . .	420
V. — Cuirs et peaux; tannage; pelleteries . . . . .	432



## CHAPITRE V

## INDUSTRIES DE L'ALIMENTATION.

I. — Meunerie et boulangerie ; pâtes alimentaires . . . . .	443
II. — Beurre, fromages, conserves alimentaires . . . . .	453
III. — Sucre ; généralités . . . . .	468
1 <sup>o</sup> Sucrerie : Extraction du sucre brut de betteraves.	470
2 <sup>o</sup> Raffinage du sucre brut. . . . .	484
3 <sup>o</sup> Sucre candi, sucre d'orge, confiserie, chocolat. . . . .	490
IV. — Boissons fermentées : fermentation alcoolique . . . . .	492
Vin rouge, vin blanc. . . . .	496
Maladies des vins, soins préventifs, pasteurisation . . . . .	507
Vins mousseux. . . . .	510
Cidre et poiré . . . . .	512
Bière ; maladies de la bière ; fabrication de la levure.	515
V. — Alcools et eaux-de-vie ; généralités . . . . .	523
Alcools d'origines diverses ; distillation, rectification.	524
Eaux-de-vie diverses . . . . .	535
Notions statistiques ; législation et régime fiscal . . . . .	536
Alcool absolu ; synthèse de l'alcool ; notions de chimie atomique . . . . .	538
Bouilleurs de cru . . . . .	546
VI. — Vinaigre et acide acétique industriel. . . . .	547

## CHAPITRE VI

## INDUSTRIES DU VÊTEMENT ET DE LA TOILETTE.

I. — Matières textiles : lin, chanvre, coton, laine, soie ; textiles végétaux . . . . .	554
Textiles d'origine animale . . . . .	555
II. — Notions sur la filature ; filature de la soie . . . . .	560
Filature du coton. . . . .	562
Filature du lin, du chanvre, etc . . . . .	570
Filature de la laine . . . . .	575
III. — Tissus ; notions sur le tissage ; armures fondamentales . . . . .	578
Principe du métier à tisser à pédale . . . . .	585
Schéma du mécanisme Jacquard. . . . .	587
IV. — Blanchiment, teinture, impression et apprêt des tissus ; 1 <sup>o</sup> blanchiment . . . . .	589

## TABLE DES MATIÈRES.

765

2° Teinture ; matières colorantes . . . . .	592
3° Impression des tissus . . . . .	598
4° Apprêt des tissus . . . . .	603
V. — Chapellerie, cordonnerie, ganterie . . . . .	606
VI. — Aiguilles et épingles . . . . .	611
Boutons, brosses et peignes . . . . .	612

## CHAPITRE VII

## INDUSTRIES DU LOGEMENT ET DE L'AMEUBLEMENT.

I. — Construction des maisons : 1° Etablissement du projet de construction . . . . .	615
2° Exécution du projet ; terrassement et fouilles . . . . .	625
Grosse maçonnerie ; voûtes ; béton armé . . . . .	628
Poutrages en fer et en bois . . . . .	636
Cheminées et conduits de fumée, échafaudages, baies . . . . .	638
Charpente et couverture . . . . .	641
Petite maçonnerie intérieure et extérieure . . . . .	642
Menuiserie ; escaliers ; portes et fenêtres ; ébénisterie . . . . .	643
II. — Papiers peints . . . . .	647
III. — Verrerie et produits céramiques. — 1° Verrerie . . . . .	649
2° Produits céramiques ; porcelaine, grès, faïence, poteries . . . . .	656
IV. — Eclairage, brûleurs et manchons à incandescence . . . . .	664
Eclairage électrique ; lampes à incandescence . . . . .	665
Lampes à arc ; lampe au mercure ; tubes au néon . . . . .	667

## CHAPITRE VIII

## INDUSTRIES DIVERSES.

I. — <i>Allumettes chimiques</i> et autres procédés d'allumage. — Principes et généralités . . . . .	670
Allumettes chimiques . . . . .	671
Briquets, auto-allumeurs ou self-allumeurs . . . . .	677
II. — Le <i>Caoutchouc</i> . — Caoutchouc brut naturel . . . . .	679
Caoutchouc synthétique, ou artificiel, caoutchouc factice . . . . .	684
Propriétés du caoutchouc pur ; vulcanisation . . . . .	685
Obtention du caoutchouc épuré, ou régénéré . . . . .	687
Caoutchouc manufacturé. — Fabrication de divers	

	articles : tuyaux, fils, tissus, courroies, rondelles, câbles, bouchons, tapis, formes à chapeau, chaussures ; ébonite . . . . .	694
	Moulage et vulcanisation ; objets divers, pneumatiques . . . . .	703
	Notions statistiques et économiques . . . . .	710
III.	— <i>Papier</i> . — Obtention de la pâte . . . . .	712
	Transformation de la pâte en feuilles ; fabrication manuelle . . . . .	717
	Fabrication mécanique . . . . .	718
	Papiers spéciaux . . . . .	721
IV.	— <i>Plumes et crayons</i> . . . . .	722
V.	— <i>Imprimerie</i> ; généralités . . . . .	726
	Composition, tirage . . . . .	728
VI.	— <i>Gravure et lithographie</i> . — 1° Gravure en taille-douce, ou en creux . . . . .	735
	2° Gravure typographique, ou en relief. . . . .	736
	3° Lithographie . . . . .	737
VII.	— <i>Photographie</i> et ses applications aux arts et à l'industrie. — 1° Photographie ; principe. . . . .	738
	2° Applications : procédés photomécaniques, photocollographie, phototypographie. . . . .	743
	Procédé <i>au trait</i> ; simili-gravure. . . . .	744
	Considérations générales sur la photogravure ; langage et terminologie . . . . .	747
	Pelliculage, procédé <i>en relief</i> . . . . .	749
	Procédé de photogravure <i>en creux</i> . . . . .	753





IMPRIMERIE L. BARNÉOUD ET C<sup>ie</sup>.

==== LAVAL ====



MASSON ET C<sup>IE</sup> PARIS