



LES
GRANDES INVENTIONS

MODERNES

DANS LES SCIENCES, L'INDUSTRIE ET LES ARTS

PAR

LOUIS FIGUIER

OUVRAGE A L'USAGE DE LA JEUNESSE

HUITIEME ÉDITION

REVUE, AUGMENTÉE

ET ILLUSTRÉE DE 398 GRAVURES SUR BOIS

PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET C^e

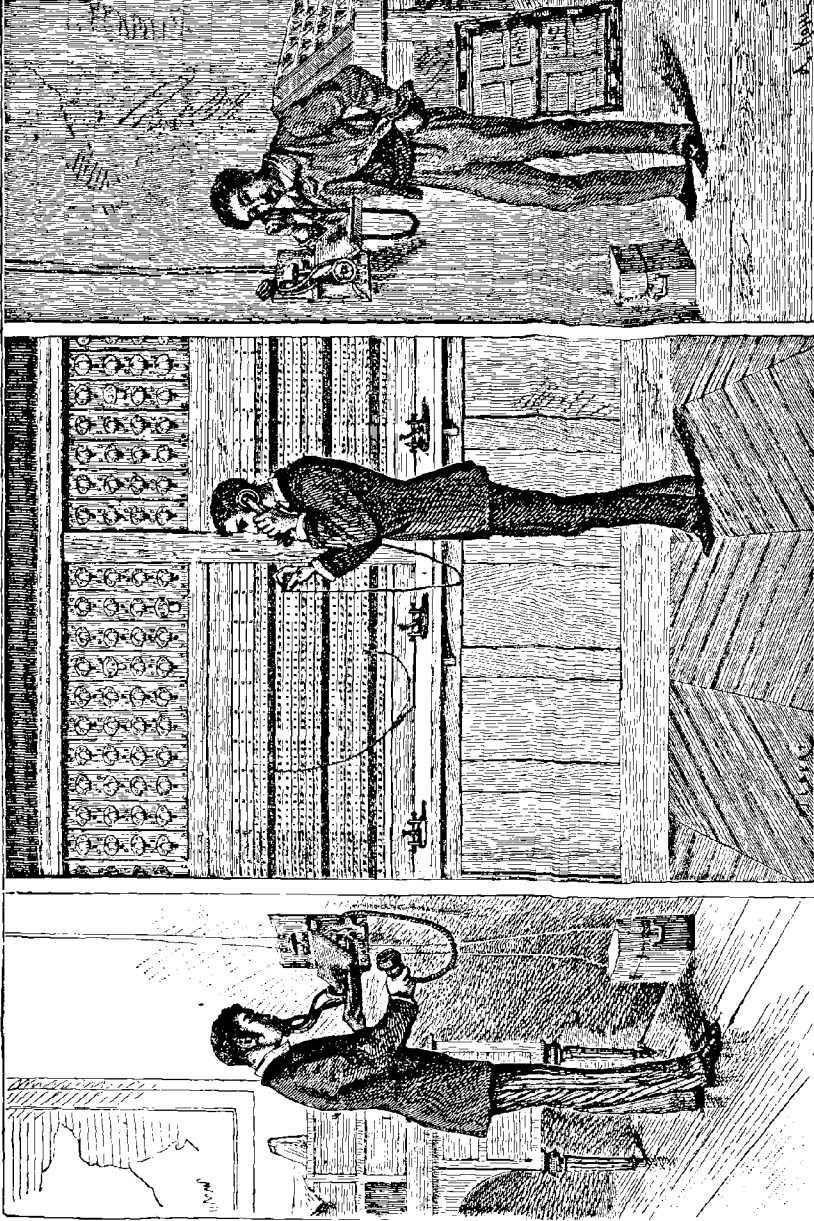
79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

1880

Droits de propriété et de traduction réservés

LES
GRANDES INVENTIONS
MODERNES
DANS
LES SCIENCES, L'INDUSTRIE ET LES ARTS

~~~~~  
CORBEIL. — TYP. ET STÉR. CRÉTÉ.  
~~~~~

B.

C.

A.

LE TÉLÉPHONE A PARIS.

A, expédition du message. — C, bureau central de l'Opéra. — B, réception du message.
(Pages 547-550.)

LES
GRANDES INVENTIONS

MODERNES

DANS LES SCIENCES, L'INDUSTRIE ET LES ARTS

PAR

LOUIS FIGUIER

OUVRAGE A L'USAGE DE LA JEUNESSE

HUITIÈME ÉDITION

REVUE, AUGMENTÉE

ET ILLUSTRÉE DE 398 GRAVURES SUR BOIS

PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET C^{ie}

79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

1880

Droits de propriété et de traduction réservés.

PRÉFACE

Les ouvrages destinés à la jeunesse n'ont guère eu jusqu'ici pour sujet que la morale, l'histoire ou les contes instructifs. Il nous a paru que l'exposé élémentaire des grandes inventions scientifiques modernes remplirait le même objet avec beaucoup d'avantages. Les préceptes de la morale, les beaux traits de l'histoire sacrée ou profane, les précieux enseignements qui résultent de l'étude et de la méditation des chefs-d'œuvre des anciens, sont, sans nul doute, ce qui doit être mis constamment sous les yeux des jeunes gens; mais une certaine variété dans les lectures ne saurait paraître indifférente. Pour réaliser cette variété dans les lectures, on ne peut trouver de sujets plus intéressants que l'histoire et la description des inventions scientifiques dans lesquelles éclate la grandeur du génie humain. L'histoire de l'imprimerie, de la boussole, celle de la machine à vapeur, celle de l'électricité, la description de la fabrication du papier, de la construction des horloges, du microscope, du télescope, la création et l'exploitation des chemins de fer, les questions relatives à la photographie, aux aérostats, etc., doivent nécessairement offrir un vif attrait à l'esprit de jeunes lecteurs.

Il serait superflu d'insister sur l'utilité de cet ouvrage. Les

jeunes gens sont appelés à retrouver partout, à l'issue de leurs études, ce qui fait la matière de ce livre. L'ouvrier des fabriques, le cultivateur des campagnes, l'employé, le commerçant, ont constamment à recourir à la machine à vapeur, au télégraphe électrique, au gaz d'éclairage, à la photographie, etc., car aujourd'hui la science a partout pénétré dans la vie commune. Il est donc indispensable de se familiariser de bonne heure avec les sciences qui nous rendent tant de services dans le cours de notre vie.

L'exposé élémentaire de quelques-unes des inventions que nous passons en revue n'était pas sans offrir certaines difficultés. Nous nous sommes efforcé de les présenter sous la forme la plus aisément accessible à de jeunes intelligences. Près de quatre cents figures distribuées dans le courant du texte nous ont permis d'abrégé et de rendre plus claire la description des appareils que nous avons à faire connaître.

Nous avons mêlé à ces notions quelques détails biographiques sur les principaux auteurs des grandes inventions modernes, convaincu que la vie et les combats de savants illustres qui ont enrichi l'humanité du fruit de leurs travaux est un des plus dignes exemples que l'on puisse offrir aux méditations de la jeunesse.



Beaucoup d'inventions scientifiques nouvelles ont vu le jour depuis les premières éditions de cet ouvrage. L'auteur s'est fait un devoir de les consigner dans cette huitième édition.

On trouvera dans cette édition deux chapitres inédits : 1° *le Téléphone* (chap. xxii), où l'on fait connaître avec exactitude, au moyen de nombreux dessins d'instruments, l'invention merveilleuse qui permet de transporter à distance la voix et la parole ar-

PRÉFACE.

III

ticulée ; 2^o le *Phonographe* (chap. xxiii), où l'on explique l'appareil si curieux par lequel on met, pour ainsi dire, la parole en portefeuille, pour l'en retirer et la faire retentir à volonté.

Tous les autres chapitres des *Grandes inventions modernes* ont reçu de notables additions. Nous citerons, à ce titre : la description des *horloges pneumatiques* inaugurées à Paris en 1880 ; — le *verre trempé*, ajouté au chapitre du *Verre* ; — les applications du microscope représentées par de nombreuses figures ; — la construction et l'exploitation des chemins de fer, qui ont été exposées avec beaucoup plus de détail que dans les éditions précédentes ; — les *locomobiles routières*, ou l'application définitive de la vapeur à la traction des véhicules sur les routes ordinaires ; — les opérations de la photographie, qui ont été également exposées avec plus d'étendue et d'après les procédés actuellement en usage ; — les aérostats, dont on conduit l'histoire jusqu'au siège de Paris en 1870 et au ballon captif de M. Henri Giffard, en 1879 ; — la télégraphie transatlantique, dont on fait connaître les développements récents et la situation actuelle ; — l'éclairage au gaz, dont on expose les récents perfectionnements ; — l'éclairage électrique, dont on analyse avec impartialité les progrès considérables faits en 1875 et 1879.

C'est en tenant son livre au courant des dernières acquisitions de la science et de l'industrie, en enregistrant les inventions de réelle importance, à mesure qu'elles se produisent, que l'auteur croit devoir remercier le public de la faveur avec laquelle il a accueilli les *Grandes inventions scientifiques modernes*, faveur que prouvent suffisamment les huit éditions de cet ouvrage.

Paris, le 15 juillet 1880

LES
GRANDES INVENTIONS

MODERNES

DANS LES SCIENCES, L'INDUSTRIE ET LES ARTS

I

L'IMPRIMERIE

Époque de la découverte de l'imprimerie. — Impression tabellaire. — Gutenberg. — Fust et Schœffer. — Développement de l'imprimerie après la mort de Gutenberg. — Imprimeurs célèbres. — Description des appareils et des moyens qui servent à l'impression. — Caractères. — Composition. — Tirage. — Presse à bras. — Presse mécanique.

L'imprimerie, c'est-à-dire l'art de multiplier rapidement et à bon marché les copies d'un même livre, et de rendre ainsi accessibles à tout le monde les produits de l'intelligence et de la pensée, a été découverte et mise en pratique au milieu du quinzième siècle. On ne saurait rapporter à aucune époque antérieure l'origine de cette invention immortelle, car les Chinois et quelques autres peuples de l'Europe auxquels on a voulu l'attribuer, n'ont jamais fait usage que des moyens de reproduction qui servent à obtenir les estampes, c'est-à-dire de tablettes de bois gravées en relief ou en creux. La mobilité et la fonte des caractères sont le fondement de l'imprimerie; or, ce n'est qu'au milieu du quinzième siècle, vers 1450, c'est-

à-dire quarante années avant l'époque de la découverte de l'Amérique (1492), que les caractères mobiles et la fonte de ces caractères ont été inventés.

Avant le quinzième siècle, l'imprimerie était inconnue en Europe; on ne se servait que de manuscrits, et voici comment s'exécutaient ces manuscrits qui, en très petit nombre, composaient la bibliothèque des universités, des cloîtres et des châteaux.

Le *libraire*, qui était un *homme instruit en toutes sciences*, confiait au copiste le manuscrit à reproduire.

Le *parcheminier* préparait les peaux douces, reluisantes et polies, sur lesquelles l'*écrivain* exécutait son travail.

L'*artiste* rehaussait les pages du manuscrit de peintures et de dorures.

Le *relieur* réunissait les feuilles du livre, qui revenait dès lors, à l'état d'achèvement, entre les mains du *clerc-libraire*.

On comprend, d'après les opérations multiples que nécessitait son exécution, qu'un livre constituât à cette époque un objet rare et précieux. On le serrait dans un coffret, ou bien on l'attachait, au moyen d'une chaîne, au pupitre de lecture. Beaucoup de ces manuscrits valaient plus de six cents francs de notre monnaie. Ils avaient pourtant fini par rendre peu de services, car les copistes multipliaient tellement les abréviations, que les savants eux-mêmes avaient quelquefois de la peine à les lire.

Dans les premières années du quinzième siècle, le désir de s'instruire devenant de plus en plus général, et le prix élevé des manuscrits étant un obstacle presque insurmontable à la satisfaction de ce désir, on eut l'idée de graver sur une planche de bois des cartes géographiques, des figures de dévotion, etc., que l'on accompagnait d'une courte légende explicative. On recouvrait ces planches d'encre grasse, et on appliquait dessus des feuilles de parchemin ou de papier, sur lesquelles on transportait, par la pression, les signes gravés sur le bois. Peu à peu la légende gravée sur le bois augmenta de longueur. On finit par reproduire, par ce moyen, des pages entières. Une *Bible des Pauvres*, imprimée par ce procédé, parut dans les premières années du quinzième siècle.

Ce mode primitif d'*impression tabellaire* fut connu des Chinois dès le treizième siècle de notre ère. Mais ces simples

tables de bois sculpté ne sauraient être considérées comme les débuts de l'imprimerie, qui a pour base fondamentale la mobilité des caractères.

Dans la première moitié du quinzième siècle, un artiste hollandais, Laurent Coster, inventa, à Harlem, l'art de composer des pages de livres en faisant usage de caractères mobiles obtenus avec un métal fondu dans un moule.

Gutenberg perfectionna et rendit pratique le procédé d'impression par des caractères mobiles en métal, imaginé et déjà employé en Hollande par Laurent Coster.

Jean Gutenberg était né à Mayence, en 1400, d'une famille noble de cette cité allemande. Il passa une partie de sa jeunesse dans la maison paternelle. Cette maison était décorée de sculptures et d'ornements allégoriques, selon l'usage des imagiers en pierre du Moyen âge. Au-dessus de la porte d'entrée principale, était sculptée la tête d'un taureau colossal, avec cette inscription : *Rien ne me résiste*. La devise inscrite au front de la *maison du Taureau Noir* de Mayence, devint celle de Gutenberg : n'est-elle pas aussi celle de l'imprimerie ?

A quinze ans, Jean Gutenberg ayant perdu son père, qui ne lui laissait pour héritage qu'une petite rente, quitta Mayence. Il voyagea pendant plusieurs années, et fut initié, à Harlem, au procédé d'impression en caractères mobiles qu'avait inventé Laurent Coster. Il alla s'établir à Strasbourg, avec le projet de perfectionner l'art nouveau de multiplier les manuscrits à l'aide de pages composées de la réunion de caractères en métal, et qui, recouvertes d'encre grasse, permettaient d'obtenir sur le papier un nombre infini de reproductions du texte.

Pendant dix ans, Gutenberg travailla seul, à Strasbourg, cherchant à perfectionner le *grand arcane*, l'*invention merveilleuse*, en un mot l'imprimerie. Déjà parvenu à d'importants résultats, mais obligé, pour ses recherches, à beaucoup de dépenses, il associa à ses travaux trois bourgeois de la ville, qui devaient fournir les fonds nécessaires à la continuation de l'entreprise.

Ces dix années de travaux avaient porté des fruits précieux : Gutenberg était parvenu à graver facilement les lettres métalliques mobiles, mais il restait à obtenir un métal ou un alliage convenable pour la multiplication de ces lettres et pour l'usage auquel on les destinait. Le fer était trop dur : il perçait

le papier; le plomb était trop mou : il s'écrasait sous l'effort de la presse. Quant au bois, il n'aurait offert ni la force ni la durée nécessaire pour un tel emploi, et les caractères n'auraient pu être facilement lavés, nettoyés, après le tirage. Il fallait donc, au moyen de l'alliage de certains métaux, obtenir des caractères pourvus du degré de dureté convenable et susceptibles d'être coulés dans des moules.

L'inventeur touchait au but; mais les nombreuses dépenses occasionnées par tant de travaux et d'essais, avaient ruiné ses courageux associés. Pour arriver à créer l'œuvre glorieuse qu'ils avaient entreprise, les associés de Gutenberg n'hésitèrent pas à vendre leurs meubles, leurs bijoux, et même leur patrimoine. Aucune plainte ne sortit jamais de leur bouche, tant ils avaient conscience de la grandeur de l'œuvre et du génie de l'ouvrier qui la dirigeait.

Tout ce qui touche à l'histoire de la découverte de l'imprimerie est d'un si puissant intérêt, que nous inscrirons ici les noms des trois hommes qui aidèrent Gutenberg de leur fortune ou de leur intelligence pour enfanter ce grand art : c'étaient Heilmann, André Dryzehn et Riff.

Découragé par la mort de ses associés, arrivée sur ces entrefaites, poursuivi par ses créanciers, Gutenberg abandonna ses travaux, quitta Strasbourg et revint à Mayence, sa ville natale.

Là, Gutenberg, livré à ses propres forces, reprend le cours interrompu de ses travaux. Il dessine, grave, fond, essaye des alliages, fait de véritables essais d'impression. Mécontent de ses résultats, il recommence dans une direction nouvelle. Enfin, comme les ressources lui manquent pour continuer son œuvre, il forme une nouvelle association avec Jean Fust et Pierre Schœffer.

Jean Fust était un riche banquier de Mayence. Rusé et retors, il prêta de l'argent à Gutenberg, mais non sans avoir pris ses précautions pour attirer à lui tous les bénéfices de l'œuvre future. Pierre Schœffer était un jeune clerc très instruit, un copiste d'une adresse inimitable, que Fust choisit bientôt pour son gendre.

On pense généralement que Gutenberg, ayant inventé les lettres mobiles en métal, n'était pas encore parvenu à trouver l'alliage nécessaire pour la perfection de son œuvre. Ce fut Pierre Schœffer qui réussit à produire, par l'union faite

en proportions convenables du plomb et de l'antimoine, ce précieux alliage au moyen duquel on obtient des lettres aux fines arêtes, moins dures que celles de fer, mais résistant suffisamment à l'effort de la presse. Dès ce moment l'imprimerie fut créée.

Mais dès ce moment aussi la scène changea. L'invention étant accomplie, et l'inventeur étant devenu désormais inutile,



Fig. 1. Statue de Gutenberg élevée sur une des places de Strasbourg.

le perfide Fust ne songe plus qu'aux moyens de se débarrasser de Gutenberg. Créancier impitoyable, il force Gutenberg à abandonner les droits qui lui reviennent dans l'exploitation de sa découverte ; il l'arrache à ses fourneaux, à ses presses, à son imprimerie. Réduit à la misère par l'ingratitude de Fust, le père de l'imprimerie fut forcé de quitter Mayence.

Après le départ de Gutenberg, Fust s'associe son gendre

Schœffer, pour exploiter les produits de cet art nouveau. Il fait travailler avec ardeur à l'impression des livres, qu'il vend, sans scrupule, comme des manuscrits. A ses ouvriers, défiants et mécontents de sa conduite envers « le maître », il fait jurer sur la Bible de garder le secret de cette fabrication. Pour mieux s'assurer leur silence, le vieil usurier leur fait souscrire des billets dont il retiendra le montant sur leur salaire, en cas d'indiscrétion. Comme dernière garantie de sûreté il établit ses ateliers au fond de sombres caves, et y tient ses ouvriers sous clef. Grâce à ces précautions, Fust put vendre à Paris un nombre considérable de livres, que l'on prenait pour des manuscrits. Mais, au milieu de ses succès, la peste l'emporta.

Son gendre, Schœffer, devenu propriétaire de l'imprimerie de Fust, à Mayence, continuait à exploiter l'invention nouvelle, lorsque cette ville fut prise d'assaut et livrée au pillage. Schœffer périt dans ce désastre, et sa mort fut le signal de la dispersion de ses ouvriers. Cependant son fils Jean Schœffer reconstitua, quelque temps après, l'imprimerie de Mayence.

Jean Schœffer n'imita pas la déloyauté de Fust envers le malheureux Gutenberg. Fust aurait peut-être réussi, par ses manœuvres perfides, à dépouiller Gutenberg de la gloire qui lui revient pour l'admirable création de l'imprimerie, si Jean Schœffer, qui avait succédé à son père Pierre Schœffer, n'eût écrit ce qui suit en tête d'un livre imprimé en 1505 et dédié à l'empereur Maximilien : « C'est à Mayence que l'art admirable de la typographie a été inventé par l'ingénieur Jean Gutenberg, l'an 1450, et postérieurement amélioré et propagé pour la postérité par les travaux de Fust et de Schœffer. »

Gutenberg survécut deux ans à son ingrat associé, Fust. Après avoir quitté Mayence, il revint à Strasbourg, où les secours de quelques amis lui permirent de créer une imprimerie. Vers la fin de ses jours, il fut recueilli par l'archevêque de Mayence, qui le mit au nombre de ses gentilshommes, et lui fit une pension. Grâce à cette généreuse, mais tardive protection, Gutenberg put consacrer les dernières années de sa vie à perfectionner les procédés de l'imprimerie. Il mourut le 15 février 1468.

Après la mort du créateur de l'imprimerie, « les enfants de Gutenberg », comme on appelait les ouvriers imprimeurs, se

dispersèrent sur divers points de l'Europe, disciples nouveaux de la science et du progrès. Ils allèrent s'établir à Cologne, à Augsbourg, à Nuremberg, à Bâle, etc. L'Allemagne, la Suisse et la France virent bientôt s'ouvrir des imprimeries, plus ou moins importantes.

L'imprimerie fut accueillie avec faveur par la plupart des souverains de cette époque, qui méritèrent bien de l'humanité en favorisant les progrès d'une invention destinée à ouvrir les yeux des peuples aux lumières de la vérité et de la raison. Louis XI accorda des lettres de naturalisation aux typographes allemands. Charles VIII admit l'imprimerie et la librairie à participer aux privilèges et prérogatives de l'Université. Louis XII, confirmant ces privilèges, considéra cette invention « comme plus divine qu'humaine, laquelle, grâce à Dieu, a été inventée et trouvée de notre temps. » François I^{er} exempta les imprimeurs-libraires de tout service militaire.

Cependant cette ère d'encouragement pour l'imprimerie naissante n'eut pas une longue durée. En 1521 commença la censure des livres imprimés. Désormais aucun ouvrage ne put être livré à l'impression avant d'avoir été examiné préalablement et approuvé par les délégués du roi. L'autorisation donnée au libraire portait le nom de *privilege* ; on en trouve le texte à la fin de tous les anciens ouvrages.

Pendant la même année, des lettres-patentes constituèrent le syndicat de l'imprimerie. Ses officiers, qu'on appelait *gardes de l'Université*, avaient mission de visiter les imprimeries, de s'assurer si les livres étaient imprimés correctement, en bons caractères, sur papier convenable, etc.

Pendant la révolution de 1789, tous les privilèges établis dans les siècles antérieurs, en faveur des corporations professionnelles, comme en faveur des divers ordres de l'État, ayant été détruits, chacun put imprimer, comme chacun pouvait parler et écrire. Mais sous le premier empire la censure reparut et se montra très rigoureuse.

L'imprimerie nationale de Paris a été fondée par Louis XIII, ou pour mieux dire par son ministre, le cardinal de Richelieu, qui l'installa au rez-de-chaussée et à l'entre-sol de la grande galerie du Louvre. En 1809, elle fut transportée dans l'ancien hôtel de Rohan, situé rue Vieille-du-Temple, où elle est encore aujourd'hui. C'est l'imprimerie la plus riche du monde

pour la variété des caractères. Elle possède une collection complète de caractères grecs, hébreux, arabes, chinois, etc. Elle est organisée pour employer des milliers d'ouvriers, qui travailleraient à l'aise dans le vaste local qu'elle occupe et avec son admirable matériel. Cependant elle n'emploie ordinairement que quarante fondeurs, deux cents compositeurs, deux cent cinquante imprimeurs, vingt relieurs et cent trente régieuses, brocheuses, etc. L'État y fait imprimer la plupart des ouvrages nécessaires aux services publics. Il y trouve des garanties de discrétion qui sont très précieuses dans certaines circonstances.

L'imprimerie impériale de Vienne mérite d'être citée comme s'étant particulièrement distinguée, dans notre siècle, par l'adoption et la mise en pratique de tous les procédés applicables à la typographie et qui sont issus des découvertes de la science moderne. La photographie et la galvanoplastie ont reçu dans cet établissement de nombreuses applications, qui ont beaucoup ajouté aux ressources de l'art typographique.

La famille des imprimeurs célèbres connus sous le nom des *Alde*, florissait de l'année 1488 à l'année 1580. Le chef de cette famille, *Alde Manuce*, dit l'*Ancien*, fonda à Venise une imprimerie qui avait pour objet spécial de reproduire les chefs-d'œuvre de l'antiquité.

Alde Manuce se plaça au premier rang des imprimeurs. Ses éditions ont l'autorité des manuscrits. La marque de son imprimerie est un dauphin enlacé autour d'une ancre. Paul Manuce et Alde Manuce, dit *le Jeune*, fils de Paul, continuèrent la gloire de leur père. Ils furent protégés par les papes et composèrent plusieurs ouvrages d'érudition.

Les Elzévir, imprimeurs hollandais, florissaient au seizième et au dix-septième siècle. C'est à Bonaventure Elzévir, imprimeur à Leyde (1618-1652), et à Abraham son frère et son associé, qu'on doit les chefs-d'œuvre typographiques qui ont illustré leur nom et qui brillent par la beauté et la netteté des caractères.

En France, les Didot ont beaucoup contribué aux progrès de l'imprimerie. François-Ambroise Didot, mort en 1804, fonda d'admirables types de caractères, et publia de très remarquables éditions. Son fils, Firmin Didot, continua la gloire de sa maison.

• Citons encore Baskerville, célèbre imprimeur anglais, mort

en 1775, qui fut lui-même le dessinateur, le graveur et le fondeur des caractères qu'il employait.



Nous allons maintenant présenter un court aperçu des appareils et des moyens divers qui servent à l'art de la typographie.

La typographie en caractères mobiles s'exécute au moyen de lettres isolées que l'on réunit de manière à en composer successivement des mots, des lignes et des pages.

La matière qui forme les caractères d'imprimerie est un alliage formé de 80 parties de plomb et 20 parties d'antimoine. L'addition de ce dernier métal au plomb lui donne toute la dureté nécessaire pour résister à l'action de la presse.

On obtient les caractères d'imprimerie en coulant l'alliage fondu dans un moule qui forme une sorte de petit canal prismatique allongé. Au fond de ce canal on a placé la *matrice*, c'est-à-dire une lettre de cuivre, en creux, qui reproduit exactement une lettre, laquelle a été gravée en relief, à l'extrémité d'un poinçon d'acier, par le *graveur de caractères*. On a *frappé* cette *matrice* en posant le poinçon d'acier qui porte à son extrémité la lettre en relief, sur une feuille de cuivre, et donnant un coup de marteau.

La matrice ainsi obtenue étant placée au fond du canal prismatique dans lequel on coule l'alliage, forme la lettre, portée à l'extrémité de sa tige.

La lettre préparée par le fondeur (fig. 3) se compose donc de deux parties : 1° la lettre même ; 2° une tige longue et plate, à l'extrémité de laquelle cette lettre est attachée, et qui permet à l'ouvrier compositeur de la manier facilement pendant son travail.

La figure 4 représente un atelier pour la fonte des caractères. Quatre ouvriers sont rangés autour d'un fourneau circulaire contenant, dans des creusets, l'alliage d'antimoine et de plomb ; ils coulent dans les moules l'alliage fondu. D'autres ouvriers, par un léger frottement sur une pierre meulière, donnent aux arêtes de la *matrice* le fini nécessaire.

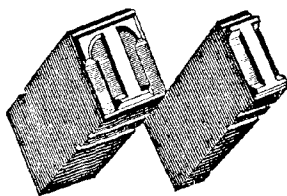


Fig. 3. Caractères d'imprimerie.

Les lettres fournies par le fondeur de caractères sont livrées aux ouvriers compositeurs, qui les rangent dans des *casses*, c'est-à-dire dans des boîtes divisées en plusieurs compartiments.

Pour assembler les lettres destinées à former un mot, le



Fig. 4. Atelier pour la fonte des caractères.

compositeur se sert d'un petit instrument en fer, nommé *composteur* (fig. 5), dans lequel il place successivement les lettres munies de leur tige, qui doivent former les mots qu'il lit sur



Fig. 5. Composteur.

sa *copie*. Cet instrument consiste en une règle métallique à l'intérieur de laquelle glisse une sorte d'équerre qui suit un de

ses bords. Une vis de pression permet de fixer l'équerre quand l'ouvrier a obtenu la longueur de ligne qu'il désire : cette longueur s'appelle *justification*. Quand la première ligne est composée, on applique par-dessus une lame métallique, appelée *interligne*, destinée à donner aux lignes l'écartement qui

a été adopté. On compose ensuite la deuxième ligne, puis la troisième, en les séparant aussi par une lame semblable.

La figure 6 représente des ouvriers compositeurs occupés à leur travail.

Un compositeur peut *lever* dix mille lettres par jour, et l'on

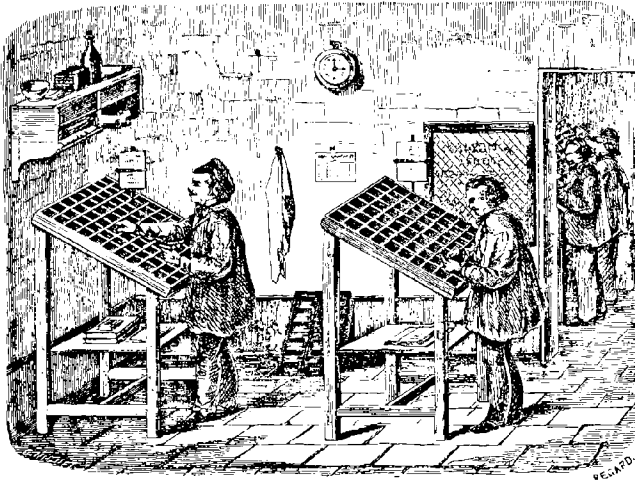


Fig. 6. Ouvriers compositeurs et casses d'imprimerie.

a calculé que pendant les trois cents jours de l'année, la main droite de l'ouvrier parcourt en moyenne treize cents lieues.

Quand le *composteur* est rempli, on enlève les lignes composées en les serrant entre le pouce et l'index, et on les pose sur la *galée* (fig. 7), petite planchette carrée munie d'un rebord en équerre.

Quand il y a un certain nombre de lignes dans la *galée*, on en fait un *paquet*.

Quand la composition est assez abondante, on la dispose par pages, que l'on place sur une table appelée *marbre* (du nom de la matière qui fut d'abord employée pour la former), et dans un ordre tel que la feuille de papier qui en recevra l'empreinte offre une série suivie de pages. Le tout est serré dans des châssis de fer, qui, dès lors, prennent le nom de *formes*.

Les *formes* étant prêtes, il reste à en faire le *tirage* sur papier.



Fig. 7. Galée.

Depuis l'invention de l'imprimerie jusqu'au commencement de notre siècle, le tirage s'est exclusivement pratiqué au moyen de la *presse à bras*. Mais aujourd'hui, dans la plupart des imprimeries, le tirage s'opère à la mécanique, c'est-à-dire par des machines mues par la vapeur.

La figure 8 représente l'ancienne *presse à bras* qui est encore aujourd'hui en usage dans quelques cas, par exemple, pour tirer des *épreuves*.

La forme étant placée sur la table plane, P, l'ouvrier la recouvre d'encre, à l'aide d'un rouleau élastique. Après avoir placé le papier préalablement mouillé sur le cadre Z, et ra-

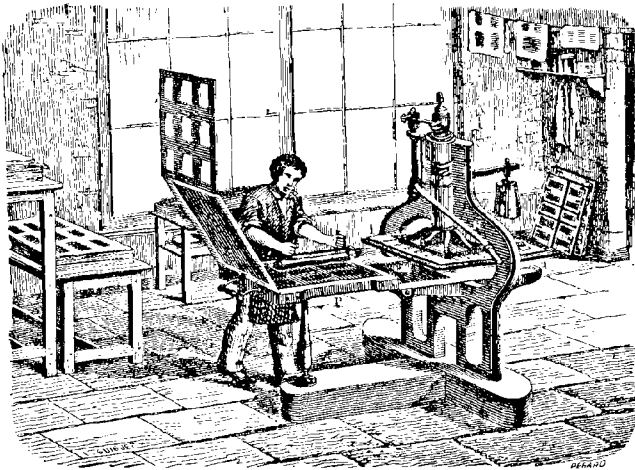


Fig. 8. Presse à bras.

battu dessus le cadre à jour Z', qui le surmonte (et qui sert à maintenir le papier, tout en préservant de salissure les parties de la feuille qui ne doivent pas recevoir l'empreinte des caractères) les deux cadres ainsi réunis sont abaissés sur la forme. Alors, au moyen d'une manivelle, la forme est glissée sous la platine I, et l'ouvrier donne un mouvement de pression sur la forme et la feuille au moyen d'un levier à manivelle. La feuille est alors imprimée. En tournant la manivelle en sens inverse, on dégage l'appareil, pour le mettre en état de recommencer la même opération.

La figure 9 montre comment on enduit le rouleau d'encre,

pour porter ensuite cette encre sur les formes. Une provision d'encre demi-fluide est placée dans une rainure qui termine la table, T. L'ouvrier, à l'aide de la manivelle M, fait tourner le rouleau, D, lequel s'empare d'une certaine quantité d'encre. L'imprimeur, saisissant ensuite le rouleau portatif R, l'approche du rouleau D et prend ainsi de l'encre. Il débarrasse ce rouleau de l'excès d'encre en le passant sur la surface de la table plane, T, et transporte enfin l'encre sur les caractères de la forme, P, comme l'a montré la figure 8.

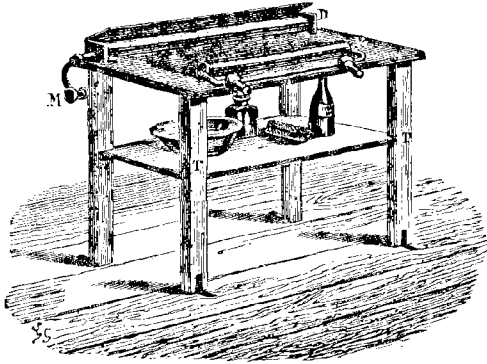


Fig. 9. Table à encrer les rouleaux d'imprimerie.

La première presse mécanique a été inventée en 1790, par un mécanicien anglais, nommé Nicholson.

La figure 10, qui représente une presse mécanique, fera comprendre les moyens qui servent aujourd'hui à effectuer les tirages d'imprimerie avec une très grande rapidité, et sans nécessiter l'assistance de plus de deux ouvriers.

A est une poulie mise en mouvement par la vapeur. Une courroie, B, transmet ce mouvement à la poulie, C. Celle-ci engrène avec la grande roue dentée qui est au-dessus d'elle, et celle-ci avec sa voisine. Ces deux roues et tous les cylindres auxquels elles sont fixées sont donc doués d'un mouvement de rotation. Une table D, bien plane et bien dressée, qui porte les formes, c'est-à-dire les pages composées en caractères, reçoit de la poulie C et de la grande roue qui engrène avec cette poulie, un mouvement horizontal de va-et-vient. Quand le commencement de la feuille de papier blanc, M, poussée par l'ouvrier sur la pente de trois rouleaux tournants, qui l'entraînent sur le cylindre H, vient ensuite passer sur la table D, il rencontre le commencement d'une forme encreée qui s'avance dans le même sens, en sorte que, par ce contact et la pression, le papier se trouve imprimé.

Mais il n'y a encore qu'un côté de la feuille imprimé. Voici comment se fait l'impression du second côté. Quand la feuille a été imprimée d'un côté, le côté imprimé de la feuille de papier s'enroule, à l'aide de quelques rubans convenablement

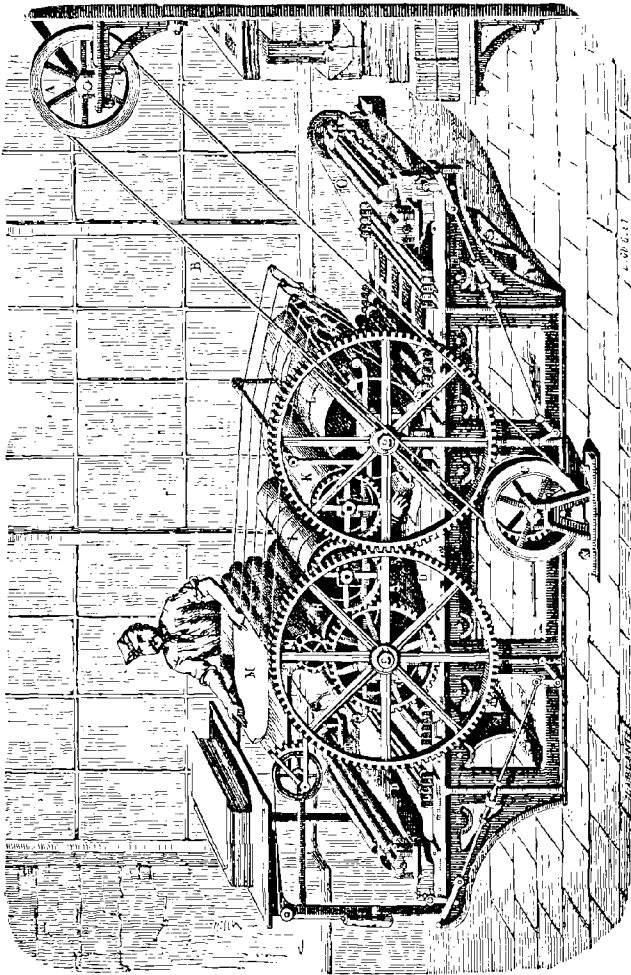


Fig. 10. Presse mécanique pour les tirages d'imprimerie.

disposés sur son passage, autour du cylindre I, le côté blanc en dehors; le côté blanc s'enroule ensuite sur la surface du rouleau K, et le côté imprimé est ainsi en dehors. Enfin ce côté imprimé s'enroule lui-même sur la surface du rouleau E, et le côté blanc demeure en dehors, pour recevoir l'impression

sur une seconde forme, dont le va-et-vient est lié à la rotation du cylindre E.

Un jeu ingénieux de rubans maintient, comme nous l'avons dit, la feuille de papier enroulée sur les cylindres, et la fait passer de l'un à l'autre. Enfin, c'est la machine elle-même qui met l'encre sur les formes au moyen d'un système de rouleaux, O, qu'on aperçoit aux deux extrémités de la figure.

Il existe des machines à imprimer qui tirent jusqu'à six mille feuilles par heure ; et pour le tirage des journaux, on a même dépassé ce nombre. Pour arriver à cette rapidité, on fait deux, quelquefois quatre, et même huit compositions, c'est-à-dire que l'on reproduit deux fois, quatre ou huit fois la même page en caractères d'imprimerie, et la machine tire à la fois ces deux, quatre ou huit feuilles.

Nous représentons ici (fig. 11) une machine à imprimer avec double composition et avec tirage double.

Il est facile de comprendre, en examinant cette figure, que c'est, avec peu de différence, la même machine que représentait la figure 10, mais qui se répète symétriquement. Deux compositions sont placées sur la plate-forme, et deux ouvriers, au lieu d'un, font passer en même temps une feuille sur chacune de ces compositions, ce qui donne un tirage double.

Quand le tirage a été terminé et a donné le nombre de feuilles qui doivent entrer dans l'ouvrage, on retire les formes de la plate-forme, on les desserre, et des ouvriers reprennent chaque lettre, pour la replacer dans les compartiments des casses : c'est ce que l'on appelle *distribuer* une composition.

Dans les deux derniers siècles, l'imprimerie était l'art de faire des livres avec de beaux caractères et sans fautes ; les livres mal réussis étaient détruits, en tout ou en partie. Le contenu des ouvrages préoccupait moins ; pourvu qu'ils fussent bien imprimés, le but était atteint. C'est ainsi que parurent une foule de traités sur l'alchimie, la magie, la sorcellerie, des chroniques, etc., admirablement imprimés, accompagnés souvent de gravures sur bois et d'ornements divers propres à la typographie. De nos jours, le but de l'imprimerie est tout autre. L'imprimerie est surtout un art mécanique, un moyen rapide et économique, pour transmettre la pensée ou pour répondre aux divers besoins du commerce, de l'industrie, des arts et de la société en général.

II

LA GRAVURE

Date de l'invention de la gravure. — La gravure en creux et la gravure en relief. — Procédés suivis pour graver au burin et à l'eau-forte. — Presse pour le tirage des estampes, ou presse en taille-douce. — La gravure en relief sur métal. — La gravure sur bois ; ses applications.

La gravure est peut-être de tous les arts celui qui a été le premier mis en pratique. On trouve, en effet, différentes pièces de métal portant des ornements ou des figures gravés par les Égyptiens, les Romains et les Grecs. On pourrait même citer un exemple de gravure chez les Hébreux, puisqu'une plaque d'or sur laquelle était tracé le nom de *Jéhovah* (Dieu), était placée sur le bonnet de leur grand prêtre. Toutefois, la gravure proprement dite n'est pas d'une date ancienne ; elle ne remonte qu'à l'époque de la Renaissance, lorsqu'on découvrit, en Italie, la manière de tirer sur papier une épreuve au moyen d'une plaque de métal gravée.

La gravure est un art aux mille formes et aux mille procédés. Comme l'esprit de nos jeunes lecteurs pourrait s'égarer dans la diversité de ces descriptions, nous nous bornerons à faire connaître les moyens de gravure qui sont le plus communément en usage, laissant de côté beaucoup de procédés ou de méthodes d'une importance secondaire, d'un emploi rare, spécial, ou qui ne répondent qu'aux aptitudes de certains artistes ou à l'empire de la mode.

En se plaçant à ce point de vue élémentaire, on peut grouper en deux grandes divisions les différentes espèces de gravure :

1° la *gravure en creux* ou en *taille-douce*, qui s'exécute sur métal ; 2° la *gravure en relief* ou en *taille d'épargne*, qui s'exécute sur métal et sur bois.

GRAVURE EN CREUX OU EN TAILLE-DOUCE.

La gravure en creux comprend la *gravure au burin* et la *gravure à l'eau-forte*.

La *gravure au burin*, la plus ancienne de toutes, fut découverte en 1452, par le Florentin Maso Finiguerra. Cet artiste, qui venait de graver une plaque d'argent pour l'église Saint-Jean de Florence, chercha le moyen de tirer sur papier une épreuve de cette planche. Il y parvint en modifiant la composition de l'encre d'impression, ainsi que la forme de la presse à bras, qui venait d'être inventée peu d'années auparavant, par Gutenberg et ses associés ; Maso Finiguerra créa ainsi les *estampes*, dont les anciens n'avaient eu aucune idée.

Les premières planches dont Maso Finiguerra se servit pour graver, étaient en étain. Mais l'étain est un métal si mou qu'il pouvait à peine fournir un tirage d'une vingtaine d'épreuves. Ce fut le célèbre Marc-Antoine Raimondi qui substitua le cuivre à l'étain, pour la gravure des estampes. Ce grand maître, l'un des premiers créateurs de la gravure au burin, porta presque tout de suite cet art à sa perfection. On lui doit la reproduction des principaux tableaux et dessins de Raphaël, et ses œuvres, qui remontent tout à fait à l'origine de l'art, sont un des plus beaux monuments du génie humain.

Après Raimondi, on substitua au cuivre l'acier, qui, en raison de son extrême dureté, suffit aux tirages les plus considérables. Une planche de cuivre ne peut guère fournir que trois ou quatre mille estampes, tandis qu'une planche d'acier peut en donner jusqu'à vingt mille.

La gravure au burin, fort simple dans son procédé manuel, exige de la part de l'artiste une adresse et une habileté toutes particulières. Elle consiste à former le dessin dans la substance du cuivre au moyen de *tailles* différemment entre-croisées.

Sur une planche de cuivre très pur, et au préalable, parfaitement polie par des procédés tout spéciaux, on commence par tracer légèrement le dessin avec une pointe d'acier, soit sur la planche nue, soit sur un vernis noir.

On appelle *burin* l'instrument qui sert à entailler profondément le métal. C'est un petit barreau d'acier trempé, dont l'extrémité est coupée de biais de manière à présenter une pointe allongée et aiguë. Il est enchâssé dans un manche de bois que l'artiste tient dans la paume de sa main,



Fig. 12. Burin du graveur.

tandis que l'extrémité de l'instrument est placée à plat sur le métal à graver. Les doigts servent à diriger la pointe du burin, qui reçoit l'impulsion du bras tout entier. C'est en entre-croisant différemment les *tailles*, et en creusant deux ou trois rangs de ces tailles, que l'on produit les effets très variés de la gravure dite *au burin*.

Les plus belles gravures au burin ont été faites au dix-septième siècle par Augustin Carrache, Goltzius, Sadeler, Blœmaert, Villamène, Poilly, Edelinck, Visscher, Paul Pontius, Vorstermann, Bolswert, Masson, Nanteuil, Rouillet et autres. Au dix-huitième siècle on cite, dans le même genre, les noms de Balechan, Wille, Raphaël Morghen, Bervic et Tardieu. Le dix-neuvième siècle a produit Massard, Des-

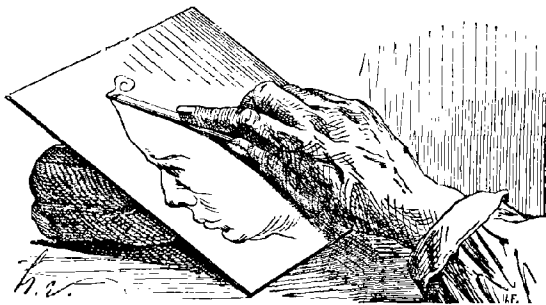


Fig. 13. Manière de graver au burin.

noyers, Foschi, Richomme, Henriquel Dupont, Calamatta, Forster, etc. En Angleterre, on cite les noms de Sharp, Wollett, Earlom et Green.

Les artistes du seizième et du dix-septième siècle gravaient, en général, avec le burin seul. Aujourd'hui, dans la gravure

dite *au burin*, on prépare presque toujours le travail en commençant par faire attaquer la planche par l'eau-forte; le burin ne sert qu'à terminer l'œuvre de l'acide.

La *gravure à l'eau-forte* consiste à creuser le métal par l'action de l'acide azotique étendu d'eau, qui attaque et dissout le cuivre ou l'acier.

Pour graver à l'eau-forte sur le cuivre, on prend une plaque de cuivre bien polie; on la place sur un feu doux, et on la recouvre, au moyen d'un tampon de soie, d'un vernis, lequel,

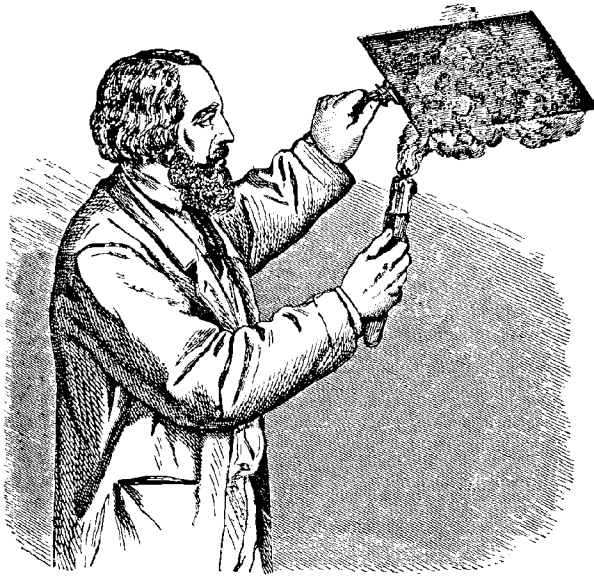


Fig. 14. Enfumage du vernis pour graver à l'eau-forte.

ramolli par la chaleur, s'étend facilement à sa surface. Ensuite on retourne la planche et on la tient au-dessus d'une bougie qui laisse échapper de la fumée (fig. 14). Le charbon de cette fumée s'incorporant avec le vernis, lui donne une teinte noire.

Cela fait, pour tracer un dessin, la copie d'un tableau, etc., on place sur la planche de cuivre une feuille de papier, sur laquelle on a tracé d'avance le calque du dessin à exécuter. Alors, au moyen de la *pointe à calquer*, espèce d'aiguille plus ou moins fine, pourvue d'un manche, on suit les traits du

calque, de manière à enlever le vernis et à mettre à nu le métal, selon le dessin qu'il s'agit d'obtenir.

La figure 15 représente le résultat de ce travail de la *pointe*

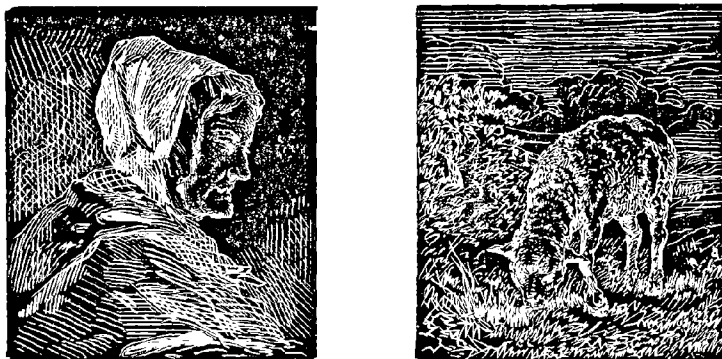


Fig. 15. Manière de dessiner sur le vernis.

effectué sur le vernis qui recouvre une planche de cuivre.

Après le travail de la *pointe* sur le cuivre verni, il reste à attaquer la planche par l'eau-forte, c'est-à-dire par l'acide

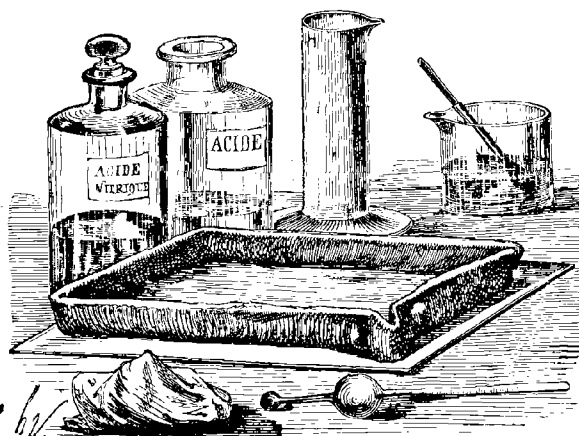


Fig. 16. Traitement de la plaque par l'eau-forte.

azotique étendu d'eau. A cet effet, on entoure la planche d'un rebord de cire, et dans le petit bassin ainsi formé (fig. 16) on verse l'acide azotique étendu d'eau, qu'on laisse agir sur le métal pendant une demi-heure ou une heure, selon la

force de l'acide et la profondeur que l'on veut donner au creux.

Il est des parties de la planche qui doivent être plus profondément attaquées que d'autres, qui doivent être plus ou moins *mordues*, selon l'expression consacrée. On retire donc l'eau-forte qui couvrait la plaque, on lave cette plaque et on la sèche; on recouvre ensuite les parties qui doivent rester légères, telles que les ciels et les lointains, d'une couche de vernis, afin de les préserver de l'acide, et on

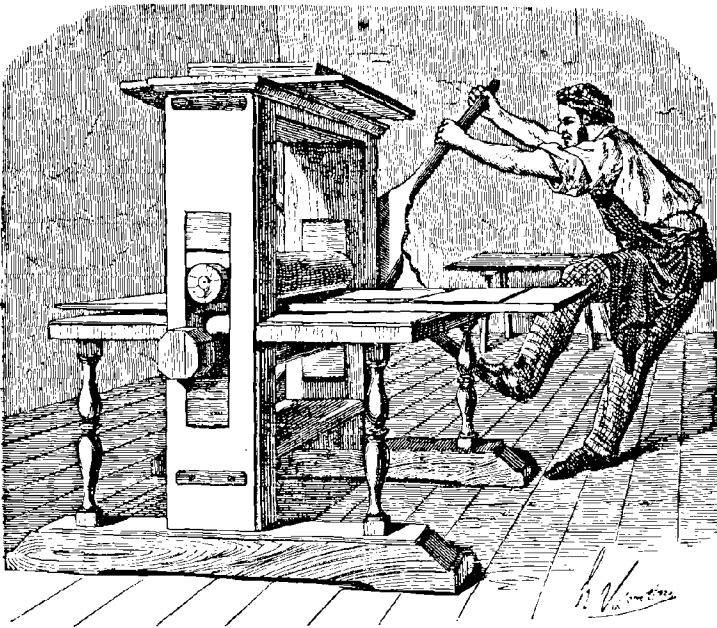


Fig. 17. Imprimeur en taille-douce tirant des estampes.

soumet le reste de la plaque à l'action plus prolongée de l'eau-forte.

Parmi les artistes qui se sont le plus distingués dans la gravure à l'eau-forte, on doit citer Albert Durer, François Mazzuoli, dit *le Parmesan*, Berghem, Paul Potter, Swanevelt, Everdingen, Henri Roos, Rembrandt, Annibal Carrache, Guido Reni, Salvator Rosa, Castiglione, Claude Lorrain, Courdon, Coypel, etc.

L'Allemagne et l'Italie se sont disputé la découverte de la

gravure à l'eau-forte : la première l'a revendiquée en faveur d'Albert Durer, tandis que les Italiens l'attribuent à François Mazzuoli, qui n'en fut certainement pas l'inventeur, mais qui seulement s'en servit le premier en Italie. Ce différend a été récemment terminé d'une manière inattendue. On a trouvé au *British Museum* de Londres une gravure à l'eau-forte due à Wenceslas d'Olmütz, avec la date de 1496. Cette pièce assure à Wenceslas la priorité de la découverte de la gravure à l'eau-forte, puisque la plus ancienne des gravures d'Albert Durer porte la date de l'année 1513, et que le peintre François Mazzuoli n'était né qu'en 1503.

On appelle *eaux-fortes de graveur*, les gravures obtenues par l'emploi successif de l'eau-forte et du burin. C'est le système presque uniquement suivi de nos jours.

La presse qui sert à tirer les estampes, ou la presse dite *en taille-douce*, diffère de la presse employée pour les tirages d'imprimerie. La figure 17, qui représente un ouvrier imprimeur en taille-douce tirant des estampes, montre la disposition de cette presse.

GRAVURE EN RELIEF OU EN TAILLE D'ÉPARGNE.

Ce genre de travail semble plutôt rentrer dans l'ordre de la sculpture que dans celui de la gravure.

Dans la gravure en relief, les tailles, au lieu d'être creusées comme dans la gravure au burin ou à l'eau-forte, sont réservées et font saillie, tandis qu'on enlève toutes les parties qui doivent donner les clairs au tirage. L'avantage spécial de ce genre de gravures, c'est qu'elles peuvent être tirées à la presse typographique, c'est-à-dire placées dans les formes d'imprimerie, pour fournir, dans le texte même des livres, des épreuves, qui se tirent en même temps que ce texte.

C'est ainsi que s'obtiennent les gravures sur bois accompagnant le texte dans les ouvrages imprimés. Le bas prix des gravures sur bois, le précieux avantage qu'elles présentent de ne point exiger de tirage séparé, mais de se tirer sur la même forme qui porte les caractères d'imprimerie, ont donné de nos jours à ce genre de gravure une extension immense.

C'est sur la racine de buis que sont taillées les gravures

dites *sur bois*. Voici comment s'exécute le travail du dessinateur et celui du graveur.

La planche de buis étant coupée dans le sens du *bois debout*, bien dressée et bien polie, on la saupoudre de *céruse*, que l'on frotte avec du papier, de manière à la faire pénétrer dans les pores du bois. On obtient ainsi une surface sur laquelle l'encre ou le crayon du dessinateur ne s'étend pas irrégulièrement, qui ne *boit* pas, comme le papier non collé. Sur la planche ainsi préparée, l'artiste dessine, au crayon ou à la plume, sa composition. Il livre ensuite son dessin au graveur sur bois, artiste d'un ordre inférieur, qui, souvent même, connaît peu le dessin, et dont tout le travail consiste à creuser le bois dans les parties qui doivent rester claires à l'impression, pour mettre en relief tous les traits et toutes les hachures tracés par le dessinateur. Cette opération s'exécute à l'aide d'une pointe d'acier longue et étroite, pour faire les hachures et les traits délicats, et pour les parties qui doivent être plus largement enlevées, au moyen d'un petit ciseau d'acier que l'on frappe avec un maillet. On a recours au burin pour les parties très délicates du dessin.

Les planches de bois ainsi gravées, ou pour mieux dire sculptées, sont livrées à l'imprimeur, qui les serre, à la place indiquée, dans les formes, et comme nous l'avons dit, texte et gravure se tirent en même temps à la presse typographique.

Malgré l'extrême dureté du buis, les gravures sur bois ne sauraient suffire à un tirage très considérable. Pour conserver aux traits de la gravure toute leur pureté, on ne peut guère dépasser, avec une gravure sur bois, plus de quinze mille exemplaires. Quand on veut pousser le tirage au delà de ces limites, la galvanoplastie, dont il sera parlé dans la suite de cet ouvrage, vient offrir un puissant secours. Au moyen de la galvanoplastie, on reproduit un cliché en cuivre, parfaitement conforme au type en bois, et c'est avec ce cliché sur cuivre en relief que l'on effectue le tirage.

C'est là une inappréciable ressource pour conserver intact le type primitif du graveur, et effectuer des tirages aussi nombreux qu'on le désire, tout en conservant aux épreuves une parfaite netteté, puisque l'on peut remplacer le cliché par un autre, obtenu par le même moyen, quand ce cliché commence à se détériorer par un long usage.

La gravure sur bois est d'une origine très ancienne. Cette *impression tabellaire*, dont il était question au chapitre précédent, dans l'histoire de l'imprimerie, était pratiquée dès le onzième siècle chez les Chinois, et constitua les rudiments de la typographie. Peu de temps après la découverte de l'imprimerie par Gutenberg, on obtenait en Europe des gravures sur bois. La gravure sur bois a même précédé la gravure au burin et à l'eau-forte ; on possède en effet des épreuves sur papier d'un saint Christophe gravé sur bois en Allemagne, en 1423, et d'un saint Bernard, gravé probablement en France par Bernard Milnet, en 1445, tandis que la découverte de la gravure au burin n'a été faite, comme on l'a vu plus haut, qu'en 1452, par le Florentin Maso Finiguerra. Beaucoup d'ouvrages publiés pendant les seizième, dix-septième et dix-huitième siècles, contiennent des gravures sur bois.

Mais c'est principalement dans notre siècle que la gravure sur bois a pris une extension étonnante, par suite de la facilité que donne la galvanoplastie pour multiplier en cuivre, le type primitif fourni par le graveur sur bois.

Dans les premiers temps, les gravures en relief destinées aux ouvrages illustrés furent sculptées sur le cuivre, pour suffire à un long tirage ; mais elles revenaient ainsi à un prix assez élevé. Heureusement, la galvanoplastie vint rendre inutile ce genre de travail, coûteux, difficile et peu agréable pour l'artiste. Aujourd'hui, la gravure sur cuivre en relief destinée aux livres illustrés est totalement supprimée ; on se contente, comme nous l'avons dit, de faire reproduire en cuivre par la galvanoplastie les gravures sur bois destinées au tirage typographique. C'est là une grande économie et une grande simplification.

En résumé, la gravure sur bois est extrêmement simple. Ainsi s'explique ce déluge d'*illustrations* qui donnent à beaucoup d'ouvrages actuels un attrait particulier et un intérêt nouveau.

La gravure sur bois vient en aide à l'écrivain, surtout pour les matières d'art et de science ; elle facilite l'expression de sa pensée, elle est pour lui un auxiliaire fidèle. Complément de l'imprimerie, aide nouveau pour l'écrivain, elle mérite la faveur toute particulière que le public lui accorde.

C'est par ce genre de gravure qu'ont été obtenues toutes les figures insérées dans cet ouvrage.

La gravure en relief, ou *en taille d'épargne*, qui vient d'être décrite, ne s'effectue pas seulement sur le bois; on l'exécute aussi sur le cuivre, quelquefois même sur l'acier. C'est ainsi qu'opèrent les graveurs de cachets et les graveurs de médailles. C'est par la gravure sur cuivre en relief que se font les estampilles destinées à imprimer à la main le nom ou les marques d'une fabrique, d'une maison de commerce, d'une administration, etc.

Ce ne sont pas là des objets d'art; mais ce qui constitue les produits de l'art le plus délicat, ce sont les gravures exécutées en relief sur acier, pour obtenir ces dessins et ces traits compliqués propres aux billets de banque, aux timbres-poste, et aux timbres des effets de commerce. L'exécution de ces types sur acier est confiée aux artistes les plus habiles et les plus exercés; car il s'agit d'obtenir des images, des signes ou des corps d'écriture, que ni la main de l'homme ni l'impression ne puissent imiter.



III

LA LITHOGRAPHIE

Principe théorique de l'impression lithographique. — Description du procédé. — Ce que c'est qu'un *report* en lithographie. — Aloys Senefelder, inventeur de cet art. — Progrès de la lithographie dans les différentes parties de l'Europe. — Son utilité spéciale. — La chromolithographie; ses procédés.

L'art de la lithographie (du grec λίθος, pierre, et γράζω, j'écris) a pour objet de remplacer le bois ou les métaux qui servent à exécuter les gravures, par une simple pierre calcaire, ce qui réduit à un très bas prix la reproduction des œuvres du dessin.

La lithographie est d'invention toute moderne. On avait bien essayé autrefois de graver en relief sur le marbre ou sur une pierre calcaire, à l'aide d'un acide, et l'on connaît le procédé populaire pour graver un dessin fait sur une coquille d'œuf, substance qui est de la même nature que la pierre calcaire¹; mais le principe de la lithographie repose sur une action toute différente. On ne se propose point de graver en relief sur la pierre, mais seulement de modifier chimiquement sa surface, de manière que certaines parties puissent recevoir l'encre d'impression, et d'autres parties la repousser.

C'est là, d'ailleurs, un phénomène très curieux de physique moléculaire, sur la nature duquel il importe d'être bien fixé, car on commet d'ordinaire beaucoup d'erreurs dans l'explication scientifique de la lithographie.

1. Ce procédé consiste à tracer un dessin ou des caractères avec du suif sur une coquille d'œuf, et à la plonger dans du vinaigre; l'acide creuse les parties de la coquille non défendues par l'interposition du suif, et les caractères ou dessins apparaissent ainsi en relief.

Tout le monde sait que, si l'on projette la vapeur de l'haleine sur un carreau de vitre, toute la surface de cette vitre se recouvre uniformément de vapeur d'eau ; mais que si, avant d'y diriger l'haleine, on a préalablement tracé, avec le doigt, un sillon sur la vitre, la vapeur ne s'attache alors qu'aux parties non touchées par le doigt. C'est un phénomène du même ordre que va nous présenter l'opération lithographique.

Pour obtenir une épreuve au moyen de la lithographie, on commence par se procurer une pierre calcaire d'un grain très serré, susceptible de recevoir un poli parfait, pour que la plume et le crayon y glissent avec la plus grande facilité. Cette variété de calcaire (carbonate de chaux) porte aujourd'hui le nom de *pierre lithographique*. Celle dont on se sert communément, la *pierre de Munich*, est tirée de Pappenheim, en Bavière. On trouve à Châteauroux, en France, une carrière de pierres lithographiques, excellentes pour la reproduction de l'écriture. On cite encore, mais comme inférieures aux précédentes, les pierres lithographiques de Bellay et de l'Aube. Pour être employées par l'artiste lithographe, ces pierres n'ont besoin que de recevoir un poli convenable.

Sur cette pierre bien polie, l'artiste qui veut obtenir la reproduction d'un dessin, exécute le dessin avec un crayon gras, composé d'un mélange de savon et de noir de fumée façonnés en un cylindre, que l'on taille comme un crayon ordinaire. Quand le dessin est terminé, on passe sur la pierre de l'eau contenant une certaine quantité d'eau-forte (acide azotique). L'acide azotique attaque la pierre aux points qui ne sont pas défendus par le trait qu'a laissé le crayon gras, et laisse la pierre intacte sous ces dernières parties. Après cette opération on lave la pierre avec de l'eau, et enfin avec de l'essence de térébenthine, pour enlever toute trace du dessin primitif et du corps gras.

La pierre ainsi traitée ne présente aucun trait à sa surface, mais si l'on y passe un rouleau enduit d'encre grasse et qu'on y pose une feuille de papier, on obtient, au moyen de la presse, une épreuve du dessin sur le papier.

Quand on assiste à un pareil tirage, on est frappé de ce phénomène étrange, d'une pierre ne présentant aucun trait, aucun dessin, aucun aspect visible, et qui cependant donne l'épreuve dès qu'on y passe le rouleau d'encre, et qu'on presse sur cette pierre une feuille de papier.

Comment expliquer ce qui s'est passé à la surface de la pierre? Les parties que l'acide a attaquées ne prennent pas l'encre, avons-nous dit, et celles qu'il n'a pas touchées peuvent, au contraire, s'en charger. Il ne faut pas attribuer cet effet curieux à la petite différence de niveau que présente la pierre et qui retracerait le dessin en s'imprégnant partiellement d'encre, par suite de ces inégalités; il s'agit ici d'un phénomène tout particulier de physique moléculaire. Par suite de l'action corrosive de l'acide, une modification s'est opérée à la surface de la pierre; les parties attaquées par l'acide ne peuvent pas s'imprégner d'encre, tandis que les parties non touchées par cet acide peuvent la retenir. C'est un phénomène semblable que l'on produit, comme nous l'avons dit en commençant, lorsque, après avoir passé le doigt sur une vitre, si l'on essaye ensuite de diriger l'haleine sur cette vitre, les parties qui ont été touchées par le doigt ne se recouvrent pas de vapeur d'eau, tandis que les autres la reçoivent. Dans l'opération de la photographie sur métal, ou *daguerréotypie*, aujourd'hui abandonnée, mais qui fut l'origine de la photographie actuelle, il se passe encore un phénomène du même ordre: les parties de la plaque d'argent que la lumière n'a pas touchées ne peuvent pas s'imprégner de vapeur de mercure; cette vapeur se fixe uniquement sur les portions de la plaque revêtues d'iodure d'argent que la lumière a touchées et modifiées chimiquement.

Le tirage des lithographies s'opère au moyen d'une presse qui diffère de la presse en taille-douce et de la presse à l'usage des imprimeurs. On voit dans la figure 18 l'ouvrier lithographe tirant des épreuves sur la presse à bras.

Cette presse se compose, comme le montre ce dessin, d'un charriot, C, qui peut glisser longitudinalement sur un rouleau posé sur une table bien d'aplomb. C'est sur ce charriot, C, que l'on place la pierre portant le dessin lithographique. L'ouvrier commence par encrer la pierre en passant sur cette pierre un rouleau imprégné d'encre, laquelle, ainsi qu'il a été expliqué plus haut, ne s'attache que sur les traits du dessin, et est repoussée par les parties blanches de la pierre.

La pierre une fois encrée, l'ouvrier applique par-dessus la feuille de papier qui doit recevoir le dessin. Ensuite, en tournant les bras de la roue verticale que l'on nomme le

moulinet, il fait avancer le charriot C, grâce à une corde enroulée sur la poulie T. En même temps, en posant le pied sur une pédale placée près du sol, il fait abaisser sur le charriot C une pièce de bois, nommée *râteau*, O, ce qui détermine une pression sur le papier. Par cette pression, que l'ouvrier gradue selon la force avec laquelle il presse avec son pied la pédale, le papier est appuyé plus ou moins

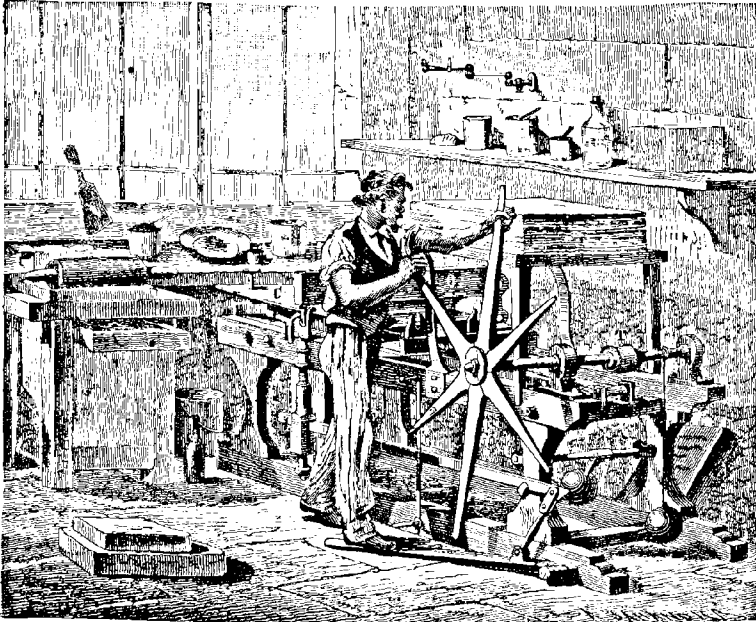


Fig. 18. Presse lithographique à bras.

fortement contre la pierre, et l'encre de la pierre se portant sur le papier, produit l'impression.

La presse que nous venons de décrire et de représenter est la *presse à bras*. Le lithographe fait également usage d'une *presse mécanique*, qui ressemble beaucoup à celle des imprimeurs typographiques.

Dans la *presse mécanique* des lithographes, la pierre est posée sur un charriot qui se meut horizontalement, comme celui des typographes, et l'encre est déposée sur le papier mouillé par des rouleaux disposés comme ceux de la presse mécanique typographique. La pression qui détermine le dépôt

de l'encre sur le papier est effectuée également par des cylindres creux venant rouler sur le papier.

Faisons remarquer qu'il est indispensable, pour la réussite du tirage, que la pierre soit entretenue constamment humide; sans cette précaution l'encre se déposerait partout uniformément, et l'on n'obtiendrait aucun résultat. L'ouvrier lithographe est donc obligé, à chaque épreuve, d'humecter de nouveau la surface de la pierre.

Les pierres lithographiques étant d'une certaine valeur, surtout quand elles doivent présenter de grandes dimensions, on les remplace quelquefois par des plaques de zinc, sur lesquelles on opère à la manière ordinaire. C'est alors de la *zincographie*. Du reste, la substitution des feuilles de zinc à la pierre lithographique avait déjà été essayée par Senefelder, l'inventeur de cet art.

La lithographie a été grandement perfectionnée et rendue pratique par l'invention du *report*. Une pierre lithographique portant le dessin est vite usée, fatiguée par le tirage : elle ne peut fournir qu'un nombre bien limité d'épreuves. Dans les premiers temps de la découverte de la lithographie, il fallait, après le tirage d'un certain nombre de lithographies, que le dessinateur recommençât son dessin sur la pierre. On repolissait la pierre et le dessinateur y traçait un nouveau dessin. C'était là une grande complication. Le procédé du *report* évite cette perte de temps.

On appelle *faire un report* dans la lithographie, l'opération qui permet de transporter sur une pierre le dessin lithographique tracé sur le papier, ou une simple épreuve de ce dessin tirée sur le papier.

Pour cela, on prend sur la pierre originale une épreuve, au moyen d'une feuille de papier humide encollée à sa surface avec de la colle de pâte; puis on se hâte d'appliquer cette épreuve sur une autre pierre lithographique bien polie, le côté de l'encre touchant la pierre, et l'on presse fortement. Sous l'influence de la pression, la couche de colle adhère à la pierre, et lorsque, après avoir passé par-dessus cette feuille une éponge imbibée d'eau, l'ouvrier vient à tirer le papier, le papier se détache seul, la colle reste adhérente à la pierre, retenant avec

elle les traits encrés qui composent le dessin. On lave la pierre à l'eau, qui enlève la colle et laisse les caractères, lesquels reproduisent sur la pierre le travail du dessinateur. Dès lors si l'on traite la pierre lithographique par l'acide, comme on a traité le dessin original, on obtient, grâce au même phénomène physico-chimique déjà expliqué, une pierre propre au tirage.

En multipliant en nombre convenable les *reports* de la pierre originale, on peut faire un tirage indéfini, sans détériorer la pierre primitive.

Tel est le moyen qui a seul permis à la lithographie de prendre l'extension considérable qu'elle a reçue.

On entend souvent parler de l'*autographie*, et l'on ne se rend pas généralement compte de la différence qui existe entre cette opération et la lithographie. Expliquons ce nouveau terme.

L'*autographie* est une lithographie économique, mais qui donne des résultats bien inférieurs à la lithographie. Au lieu de dessiner ou d'écrire sur la pierre, on dessine ou l'on écrit sur un papier *préparé*. La *préparation* de ce papier consiste à le recouvrir d'une couche de gélatine, d'empois d'amidon et de gomme-gutte. Avec le dessin tracé sur cette feuille de papier on fait, sur une pierre lithographique, un *report* d'après le moyen qui vient d'être expliqué, et la pierre lithographique qui a reçu ce *report*, sert à faire les tirages.

L'avantage et l'économie de l'autographie consistent en ce que le dessinateur ou l'écrivain n'ont pas à dessiner ou à écrire sur la pierre, mais sur du papier, et surtout en ce qu'ils n'ont pas à dessiner ou à écrire à l'envers.

Depuis une vingtaine d'années, une découverte importante a été réalisée dans l'art de la lithographie : c'est la reproduction des couleurs, ou la *chromo-lithographie*, qui tient aujourd'hui une grande place dans les arts. La chromo-lithographie permet de produire mécaniquement des aquarelles réunissant un nombre considérable de tons différents.

Le procédé pour obtenir les chromo-lithographies, dans le détail duquel nous n'entrerons pas, consiste, d'une manière générale, à tirer les épreuves avec de l'encre de couleur, au lieu d'encre noire, et pour cela, à faire autant de tirages successifs de la même épreuve qu'il y a de couleurs différentes à appliquer.

Des points de repère permettent, après le tirage d'une couleur, de placer exactement la couleur suivante au point voulu.

Certaines chromo-lithographies nécessitent jusqu'à 20 tirages successifs.

La presse mécanique a été depuis quelques années appliquée au tirage des chromo-lithographies, ce qui a rendu plus économique cette opération, toujours, d'ailleurs, assez délicate, et qui exige beaucoup de soins.



Aloys Senefelder, le créateur de la lithographie, n'était qu'un pauvre artiste attaché au théâtre de Munich. C'est par



Fig. 19. Statue d'Aloys Senefelder, placée dans les ateliers de M. Lemercier, à Paris.

une suite de persévérants travaux que cet homme inventif et patient, privé de tout encouragement et de tout secours, parvint à réaliser le simple et admirable moyen de reproduction, qui a tant contribué à populariser les œuvres de l'art moderne.

Fils d'un acteur du théâtre de la cour, à Munich, Aloys Senefelder, né à Prague en 1771, commença par remplir à ce théâtre les simples fonctions de choriste. Il composa deux ou trois pièces, qui n'obtinrent pas grand succès, *Mathilde d'Allenstein* et *Les*

Goths d'Orient. Pour les mieux faire apprécier au public, il résolut de faire imprimer ses œuvres. Bien que fort pauvre, sans protecteur et sans ressources, Senefelder parvint à faire

imprimer une de ses pièces, et en surveillant cette impression il s'initia à tous les principes de la typographie. Mais, hors d'état de subvenir à l'impression du reste de ses pièces, il résolut de chercher quelque moyen nouveau de reproduire économiquement l'écriture.

Parmi les divers moyens dont il fit l'essai, celui qui lui



Fig. 20. Aloys Senefelder découvre par hasard le procédé lithographique.

réussit le mieux était une sorte d'imitation du procédé de la gravure à l'eau-forte. Il écrivait, au moyen d'un vernis, sur une plaque de cuivre, et donnait ensuite du relief aux caractères en attaquant la plaque de cuivre par l'eau-forte. Seulement il fallait écrire à rebours ; Senefelder s'y appliqua et parvint à imiter, à la main, les caractères d'imprimerie. Mais les plaques de cuivre coûtaient fort cher ; il lui était difficile de les

polir convenablement, elles se détérioraient très vite, et il était presque impossible d'y faire des retouches ou des corrections.

Découragé par tant de difficultés, notre opérateur était sur le point d'abandonner une entreprise presque téméraire, lorsqu'une idée nouvelle jaillit dans son esprit. On exploitait, aux environs de Munich, une carrière de pierres calcaires qui servaient à faire des dalles d'appartement. Ces pierres, d'un grain très serré, se polissaient avec la plus grande facilité. Senefelder conçut l'idée de les substituer aux plaques de cuivre dont il faisait usage. Mais comment rendre ce moyen pratique? Senefelder s'épuisait en essais et ne parvenait à rien.

Il en était là, lorsque le plus singulier des hasards vint lui faire entrevoir la solution du problème qu'il s'était posé. Un jour, comme il était occupé à dessiner sur une de ses pierres polies, il reçut la visite de sa blanchisseuse. N'ayant pas de papier sous la main, il écrivit la note de son linge (fig. 20) sur cette pierre avec l'encre grasse qui lui avait servi dans ses premiers essais à écrire sur le cuivre. Une fois seul, il lui vint à l'idée d'essayer si, en versant sur la pierre l'acide qui lui servait à creuser ses plaques métalliques, il ne pourrait donner à la pierre un relief suffisant pour qu'elle pût fournir des épreuves à l'impression.

Ce fut là le point de départ d'une série de recherches longues et variées, qui devaient conduire Senefelder à l'invention définitive de la lithographie. L'acide versé sur la pierre recouverte de caractères tracés avec l'encre grasse, ne pouvait fournir un relief suffisant pour que la pierre pût servir au tirage au moyen de l'encre d'impression; mais il se trouva qu'ainsi attaquée en certains points par l'acide, la pierre subissait, dans sa texture physique, une modification telle, que les parties touchées par l'acide ne pouvaient recevoir l'encre d'impression, tandis que les parties qui avaient été défendues de son contact par l'encre grasse, prenaient, au contraire, fort bien cette encre.

En poursuivant l'étude de ce fait inattendu, Senefelder ne tarda pas à renoncer à son idée primitive d'obtenir le relief sur pierre par un acide. Il reconnut que, pour reproduire de l'écriture ou un dessin, il suffisait d'écrire avec une encre grasse sur une pierre calcaire de Munich bien polie, de verser sur cette pierre de l'eau-forte étendue d'eau, d'enlever ensuite

l'encre du dessin recouvrant la pierre, et de la soumettre enfin au tirage, au moyen de l'encre d'impression.

Le rouleau qui servait à distribuer l'encre dans le tirage des gravures en taille-douce, exigeait des modifications toutes spéciales pour s'appliquer à cette nouvelle destination. Senefelder réalisa avec le plus grand bonheur ces changements, et c'est à lui que l'on doit tout l'outillage, tout le matériel pratique qui sont employés aujourd'hui par les lithographes.

C'est en 1799 qu'Aloys Senefelder créa la lithographie. Le roi de Bavière lui ayant accordé un brevet de quinze années pour l'exploitation de sa découverte, Senefelder prit le même brevet à Vienne, à Londres et à Paris. Il établit d'abord à Offenbach, ensuite à Vienne, et enfin à Munich, une imprimerie lithographique dont le succès fut rapide, et qui répandit promptement dans le commerce les chefs-d'œuvre des maîtres de l'art. Il eut pour associé le maître de chapelle de la cour de Bavière.

En 1809, le roi créa un *Institut lithographique*, dont il nomma Senefelder directeur, tout en lui laissant la permission de publier ses travaux personnels.

Plus heureux que la plupart des inventeurs, Aloys Senefelder put jouir, de son vivant, de l'immense extension que reçut sa découverte, de l'admiration qu'elle a excitée, et des services qu'elle a rendus aux beaux-arts. Cet éminent artiste est mort à Munich, en 1834, âgé de soixante-deux ans.

L'introduction de la lithographie en France a rencontré beaucoup de difficultés et de résistances. On craignait qu'elle ne détronât la gravure, et qu'elle n'en fit disparaître le goût. L'appât du bon marché devait, disait-on, engager les amateurs à se jeter sur ces reproductions, forcément bien inférieures aux œuvres du burin, et corrompre ainsi le goût public. L'événement a prouvé le peu de fondement de ces craintes. La lithographie et la gravure ont chacune ses applications spéciales ; remplissant des indications bien différentes, elles ne peuvent se nuire réciproquement. La lithographie a pris aujourd'hui dans les beaux-arts le rang qui lui a été si longtemps contesté ; elle est admise à nos expositions, elle figure dans nos musées, et des artistes de grand mérite se sont acquis dans ce genre une juste renommée.

C'est au comte de Lasteysie que l'on doit surtout l'extension que la lithographie a prise en France. Cet amateur éclairé, après un long séjour fait dans les imprimeries lithographiques de l'Allemagne, fonda à Paris, en 1814, une imprimerie lithographique. Presque en même temps, Engelmann en créait une autre, à Mulhouse, et deux ans après il en fondait une à Paris.

En 1818 l'autorité commença à délivrer des brevets d'imprimeurs lithographes ; et aujourd'hui il n'est pas en France de ville, même de troisième classe, qui n'ait son imprimerie lithographique.

Ainsi, l'invention de Senefelder a vite prospéré. Un court espace de temps lui a suffi pour passer de l'état d'enfance à celui de perfection ; quarante années à peine séparent sa naissance de son apogée. L'invention de la *chromo-lithographie* est venue, depuis l'année 1830 environ, augmenter encore l'importance de son rôle dans les beaux-arts.

Nous ne devons pas oublier de dire toutefois, que la lithographie a une redoutable rivale : c'est la photographie. Pour la reproduction des œuvres du dessin et de la peinture, pour la copie des monuments et des œuvres d'architecture, la photographie tend de plus en plus à se substituer à la lithographie, qui représente les objets avec une infidélité notoire, si on les compare à l'image admirable et précise qu'en donne la photographie.



IV

LE PAPIER

Histoire de l'invention du papier. — Le *papyrus* chez les Égyptiens et les Romains. — Le papier de lin fabriqué en Orient pour la première fois. — Son importation en Europe pendant le onzième siècle. — Progrès dans la fabrication du papier. — Procédés employés pour la fabrication du papier. — Fabrication du papier à la mécanique. — Triage, lessivage et lavage des chiffons. — Défilage des chiffons. — Traitement par la soude dans le *lessiveur rotatif*. — Blanchissage de la pâte. — Mise en feuilles. — Fabrication du papier à la main. — Les succédanés du chiffon. — Les papiers de bois, de paille et d'alfa. — Le carton et sa fabrication. — Les papiers peints. — Impression des papiers peints à la main. — Impression mécanique.

Les fibres végétales préparées de manière à recevoir l'écriture, sont d'une origine extrêmement ancienne. Les Égyptiens en faisaient usage de temps immémorial, et ils transmirent aux Romains les procédés qui permettaient de transformer les fibres du *papyrus* en surfaces brillantes, souples, blanches, polies et susceptibles d'une longue conservation.

Le *papyrus* est une plante de la famille des Graminées, qui croît avec abondance dans les marais de l'Égypte. Nous représentons dans la figure 21 le *papyrus* d'Égypte. Mais nous devons ajouter que l'on peut voir aujourd'hui cet arbuste dans les squares et les jardins publics de Paris.

C'est avec les tiges dures et résistantes de cette plante que les anciens Égyptiens préparèrent les premières feuilles propres à recevoir les signes de l'écriture. On désigna ces feuilles, pour rappeler leur origine, sous le nom de *papyrus*.

Le plus beau *papyrus* avait reçu le nom de *papyrus hiéroglyphique*. Les prêtres s'en servaient pour les écrits religieux, et de

peur qu'on ne le consacraît à des ouvrages profanes, les lois de l'Égypte défendaient de le vendre aux étrangers. Aussi le papyrus demeura-t-il assez longtemps la propriété exclusive des Égyptiens.

Cependant quelques commerçants romains, en dépit de la loi de ce pays, achetèrent en Égypte des livres religieux, et les lavèrent, pour pouvoir écrire à leur tour sur le même papier, et vendre ces manuscrits.

On écrivait sur le *papyrus* avec un roseau taillé et une encre composée de noir de fumée.

Bientôt, l'importation du papyrus d'Égypte en Italie, non seulement fut autorisée, mais prit des proportions considérables. On envoyait d'Égypte à Rome le papyrus tout fabriqué, et qui n'exigeait que quelques manipulations de peu d'importance pour être consacré à l'écriture.

Les Romains distinguaient jusqu'à neuf qualités différentes de *papyrus*. Le meilleur et le plus large s'appelait *papier Auguste*, le second *papier Livie*, du nom de la femme d'Auguste. Venait ensuite le *papier hiératique* (sacré), ainsi nommé parce qu'il avait été, comme nous l'avons dit, primitivement réservé, chez les Égyptiens, aux livres sacrés. Les autres étaient de qualité inférieure et de largeur décroissante.

Les manuscrits romains et grecs étaient composés d'une réunion de feuilles de papyrus.

Le mot *volume* (*volumen*, du verbe *volvere*, rouler) a pour origine l'habitude qu'avaient les anciens de faire un *rouleau* des diverses feuilles, des diverses pages, pour en composer un livre. Le *volumen* représentait donc exactement ce que nous nommons aujourd'hui un *volume*.

C'est en Orient que l'on a préparé, pour la première fois, le papier tel que nous le connaissons. Les Chinois le fabriquaient au moyen du bambou ; les Japonais avec l'écorce du mûrier (*Broussonnetia papyrifera*).

Les procédés de fabrication du papier étaient de temps immémorial mis en pratique en Chine et au Japon. Vers le onzième siècle, des manufacturiers arabes, après s'être initiés à cette industrie en Asie, allèrent établir en Espagne des fabriques de papier. Seulement, au lieu de bambou ou d'écorce de mûrier, ils firent usage de coton. Les procédés de cette fabrication une fois connus, on ne tarda pas à les appliquer par-

tout, et l'usage du papier devint bientôt général en Europe.

Les Arabes avaient établi les premières manufactures de papier de coton en Espagne, à Septa (aujourd'hui Ceuta) ainsi qu'à Xanthia (aujourd'hui San-Felipe).

Dans les manufactures d'Espagne le papier se fabriquait avec le coton tel qu'on le recueille autour des graines de la plante ; et comme on ne connaissait pas encore les moulins à eau ni les divers procédés qui rendent le papier propre à recevoir l'écriture, ce papier était fort imparfait : il avait peu de corps et se déchirait à la moindre traction.

Le papier de lin est postérieur au papier de coton : il n'a été fabriqué que vers 1300. Une lettre adressée en 1315, par l'historien Joinville, au roi de France, Louis X, dit *le Hutin*, est écrite sur du papier de lin.

Dans les manufactures de l'Europe on fut naturellement conduit à substituer le lin au coton cru, qui, dans les premiers temps, et d'après le procédé des Arabes, servait à la confection du papier. Seulement, au lieu d'employer la matière filamenteuse cueillie sur le végétal, on fit usage de chiffons de coton ou de lin. Ces chiffons, hachés, placés dans l'eau bouillante, maintenus ensuite dans une sorte de fermentation, pendant plus d'un mois, et réduits en pulpe par l'action de marteaux de bois, formaient une pâte propre à être convertie en papier.

Les chiffons de coton avaient, du reste, été consacrés à la fabrication du papier dès l'établissement en Europe des premières manufactures d'étoffes de coton. L'usage des moulins à bras, et bientôt celui des moulins à martinets mus par l'eau, qui furent inventés en Italie pour la fabrication de la pâte du papier, donnèrent ensuite le moyen de perfectionner cette industrie.

Les premiers papiers qui furent fabriqués en Europe étaient destinés à recevoir l'écriture ; aussi avaient-ils beaucoup de corps et étaient-ils collés. Les premiers livres furent donc imprimés sur du papier collé, ce qui permettait, d'ailleurs, de les recouvrir de peintures et d'ornements à la main, pour leur donner l'apparence de manuscrits. On ne commença qu'au seizième siècle à imprimer des livres sur du papier sans colle ; aussi, dès ce moment, le prix du papier destiné à la fabrication des livres, diminua-t-il de moitié.

Au dix-septième et au dix-huitième siècle la fabrication du papier prit, en France et en Allemagne, de grands développe-

ments. En 1658, la France exportait déjà en Hollande et en Angleterre pour plus de deux millions de livres tournois de papiers de toutes sortes.

Pendant le dix-septième et le dix-huitième siècle, les perfectionnements de l'industrie de la fabrication du papier furent lents ou peu sensibles. Les procédés employés pendant ce long intervalle exigeaient un nombre considérable d'ouvriers, car toutes les opérations s'exécutaient à la main. La découverte de la fabrication du papier au moyen de machines, c'est-à-dire du papier dit *à la mécanique*, vint imprimer à cette industrie une impulsion immense.

L'honneur de cette invention revient à un Français, Louis Robert, employé à la papeterie d'Essonnes.

C'est en 1799 que Louis Robert imagina une série d'appareils mécaniques permettant de produire des feuilles de papier d'une longueur indéfinie, sur une largeur déterminée. L'inventeur obtint du gouvernement français, pour toute récompense, une somme de huit mille francs.

Pour rendre de grands services, le système de Louis Robert avait besoin d'être perfectionné. C'est en Angleterre, en 1803, que l'appareil mécanique de Louis Robert reçut définitivement son application. Didot Saint-Léger, propriétaire de la papeterie d'Essonnes, avait acheté de Louis Robert son brevet d'invention pour la fabrication du papier continu. N'ayant pas trouvé en France les secours ou les encouragements nécessaires pour perfectionner cette importante invention, Didot Saint-Léger partit pour l'Angleterre, espérant y trouver plus de ressources. Son espoir ne fut point trompé. C'est à sa persévérance et aux sommes immenses qui furent mises à sa disposition par plusieurs fabricants de Londres, que l'on doit la réussite définitive de l'admirable machine qui sert aujourd'hui à la fabrication du papier continu.

En 1814, Didot Saint-Léger importa en France cette machine perfectionnée. Il établit, chez Berthe, propriétaire de la papeterie de Sorel, près d'Anet, une machine qui avait été construite par Calla.

Ainsi, la machine pour la fabrication du papier fut imaginée en France; mais, négligée dans notre pays, elle dut aller chercher en Angleterre les encouragements nécessaires pour atteindre à sa perfection. Nous verrons le même fait se repro-

duire à propos de l'invention et de la mise en pratique de l'éclairage par le gaz.

En 1827, il existait déjà en France quatre papeteries travaillant par l'appareil mécanique ; il en existait douze en 1834 ; aujourd'hui on en compte plus de deux cent cinquante. Les efforts de Montgolfier, Canson et Chapelle ont contribué, dans une proportion considérable, au développement de cette importante industrie.



Le papier s'obtient par deux procédés distincts : la fabrication mécanique et la fabrication à la main. La fabrication du papier par l'appareil mécanique a presque entièrement remplacé aujourd'hui la fabrication à la main. Limitée à un petit nombre de papiers spéciaux et de qualité supérieure, cette dernière méthode ne sert plus aujourd'hui qu'à satisfaire aux exigences de certaines consommations. La fabrication mécanique, au contraire, fournit l'immense généralité des différents papiers versés dans l'industrie, et qui sont destinés soit à l'écriture, soit à l'impression.

Nous allons décrire successivement ces deux procédés de fabrication, en commençant par la fabrication mécanique.

Les chiffons bruts arrivent à la fabrique grossièrement triés. Là on les sépare en chiffons de lin, coton, soie, laine, et l'on rejette les deux derniers, qui sont impropres à la fabrication du papier, la laine et la soie étant d'origine animale et non végétale. On les classe aussi en chiffons neufs ou usés, et en chiffons blancs ou colorés. Pour obtenir ce résultat, il a fallu préalablement découdre les chiffons et les couper au moyen d'un couteau animé d'un mouvement mécanique, séparer ceux qui ne se ressemblent pas, mettre de côté les ourlets et les coutures, détacher les boutons et agrafes, etc. On doit avoir soin aussi de régulariser la dimension des chiffons en rognant ceux qui dépassent une longueur déterminée. Ce travail préparatoire, qui s'appelle le *défilage* ou *découpage*, occupe un grand nombre d'ouvrières et demande beaucoup de soins.

Les chiffons ainsi divisés sont traités par la soude caustique, dans un appareil fermé que l'on nomme *lessiveur*, et que représente la figure 22. C'est un cylindre, ou une sphère de

cuivre, que l'on remplit d'un mélange de chiffons et de dissolution de soude caustique. Au moyen d'un courant de vapeur, on porte la température du liquide à environ $+ 130$ degrés, et une pression considérable résulte de l'injection dans le *lessiveur* de cette vapeur à haute température.

Sous la double influence de la chaleur et de la soude, les matières étrangères à la *cellulose*, c'est-à-dire à la substance pure du chiffon, sont détruites, sans que la *cellulose* elle-même

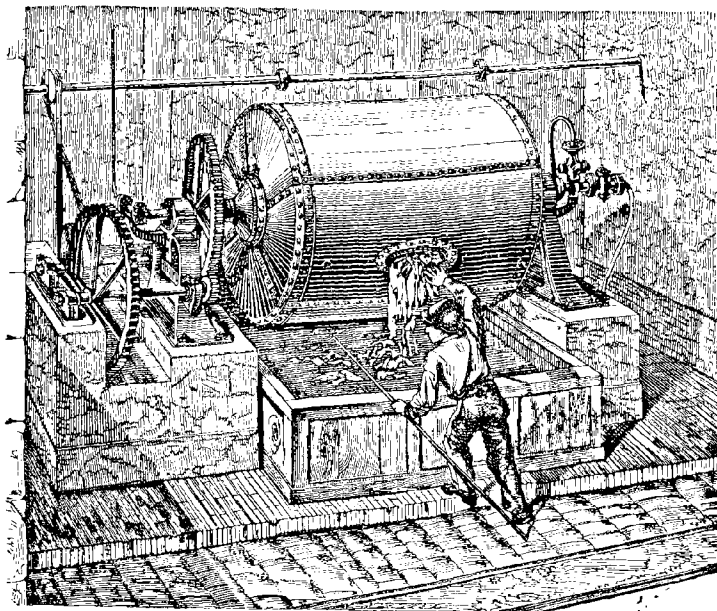


Fig. 22. *Lessiveur rotatif* pour traiter les chiffons par la soude caustique bouillante.

soit altérée. Quand le traitement par la soude bouillante est terminé, on retire les chiffons du *lessiveur*, en ouvrant le *trou d'homme*, comme le représente la figure 22. Ensuite, on lave à grande eau la pâte noirâtre qui s'en échappe, et que l'on a recueillie dans la cuve placée au-dessous du *lessiveur*.

Quand les chiffons ont été ainsi débarrassés de toute substance étrangère, on s'occupe de les réduire en pâte. Cette opération s'exécute avec une machine connue sous le nom de *pâte défileuse* (fig. 23).

Cette machine consiste en un large cylindre, N, lequel renferme un axe tournant, composé de planches de métal. En

regard de ces lames tournantes est disposée une platine, également métallique, portant plusieurs lames. C'est entre la surface de cette platine et les lames d'acier, ou dents, du cylindre N, que s'effectue la division du chiffon. Grâce au moteur de l'usine (qui peut être une chute d'eau ou une machine à vapeur), les chiffons repassent continuellement entre la platine et les lames du cylindre. Un robinet, R, amène dans la cuve l'eau nécessaire au lavage de la pâte.

La *pile défileuse* divise, déchire les chiffons au sein de l'eau,

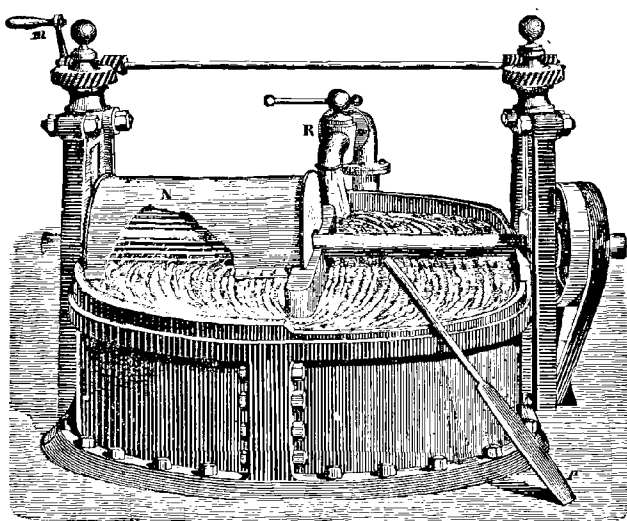


Fig. 23. *Pile défileuse*, pour réduire en pâte les chiffons.

et finit par les transformer en une sorte de pulpe, qui est la *pâte du papier*.

Blanchissage de la pâte. — Après cette opération, la pâte conserve une couleur qui dépend de celle qu'avaient les chiffons : il s'agit de la blanchir. Pour cela, on la place dans un réservoir bien fermé, dans lequel on fait affluer du chlore gazeux.

On obtient ce gaz, qui jouit de propriétés décolorantes très prononcées, en chauffant un mélange de sel marin, d'acide sulfurique et d'un composé très fréquemment employé dans les laboratoires de chimie, et qu'on nomme *peroxyde de manganèse*. Pour blanchir 500 kilogrammes de pâte de chiffons, il faut produire un dégagement d'environ 4 mètres cubes de chlore.

On blanchit aussi la pâte avec du chlorure de soude dissous

dans l'eau, qui agit par le chlore qu'il renferme : le chlore est mis en liberté par l'action de l'air sur le chlorure de soude.

Quand la pâte est complètement décolorée, on la lave dans une cuve pleine d'eau, pour la débarrasser du chlore qu'elle retient. Elle est alors portée dans la pile dite *raffineuse*, qui ne diffère de la pile *défileuse* représentée plus haut (fig. 23) qu'en ce que le cylindre est pourvu d'un plus grand nombre de lames et qu'il se meut au sein du liquide avec plus de vitesse.

Mise en feuilles. — Nous allons maintenant donner un idée de l'opération compliquée, mais rapide, qui convertit la pâte en papier continu, dans la machine à fabriquer le papier-machine, inventée, comme nous l'avons dit, par Louis Robert, d'Essonnes.

Amenée, par les moyens qui viennent d'être exposés, à l'état de pâte parfaitement blanche, et maintenue dans l'eau à l'état de suspension, cette pâte est versée, par une pompe, dans un bassin peu profond. Elle passe de là sur une sorte de tamis, qui est en communication avec une véritable machine pneumatique. Par l'aspiration de l'air opérée sous le tamis qui supporte la feuille de pâte demi-liquide, cette pâte se dessèche rapidement et prend une consistance demi-solide. Devenue un peu ferme, la pâte de papier s'enroule successivement autour d'une série de larges rouleaux métalliques creux, qui sont chauffés à leur intérieur par la vapeur. Par son passage successif sur des rouleaux chauffés, la pâte se sèche, durcit peu à peu, et finit par acquérir la consistance d'une feuille de papier humide.

Il se forme donc ainsi une bande continue de papier. Des ciseaux, manœuvrés par le moteur de l'usine, découpent ensuite la bande en feuilles de la dimension voulue. Ces feuilles sont placées, une à une, entre des plaques de zinc, que l'on soumet à l'action de la presse, pour en exprimer l'humidité. Quand les feuilles se sont séchées à l'air, elles sont propres à être livrées à la consommation.

La figure 24 représente la machine que nous venons de décrire, c'est-à-dire la machine à fabriquer le papier continu.

Fabrication du papier à la main. — Le papier fabriqué à la main s'obtient par les mêmes moyens qui servent à obtenir le papier à la mécanique, c'est-à-dire : traitement des chiffons par la lessive caustique dans le *lessiveur rotatif*, décoloration par le chlore gazeux et réduction en pâte dans les piles *défileuse* et *raffineuse*. Mais, au lieu de fabriquer une feuille continue par

les appareils mécaniques, on prépare manuellement chaque feuille, avec la pâte de papier. On comprend combien un pareil travail est long, pénible et coûteux.

Quoi qu'il en soit, pour fabriquer le papier à la main, on place la pâte de papier dans une cuve, et on lui donne, selon les quantités d'eau qu'on y ajoute, un degré de fluidité qui sert à déterminer l'épaisseur de la feuille de papier. Un ouvrier, qu'on appelle l'*ouvreur*, tient à la main un cadre, ou *forme*, composé d'un châssis de bois recouvert de fils de cuivre, dont on aperçoit les traces, ou *vergures*, quand on regarde par transparence une feuille de papier ainsi façonnée. Ces fils sont soutenus, de distance en distance, par d'autres fils plus

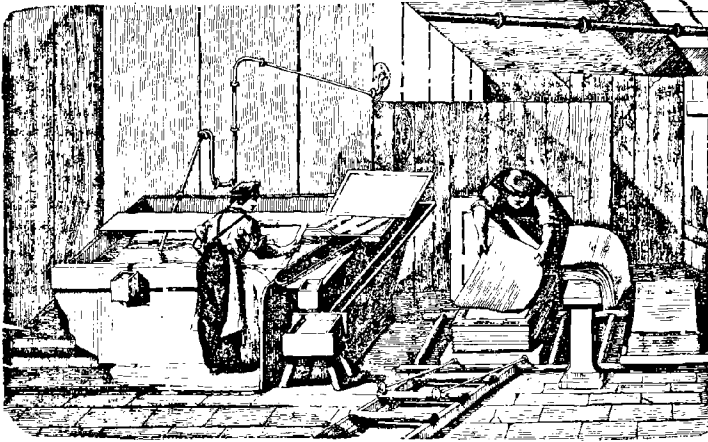


Fig. 25. Préparation d'une feuille de papier à la main.

gros placés en travers. Le nom du fabricant, qu'on lit aussi sur la feuille, est figuré au moyen d'autres fils de cuivre. Enfin, pour déterminer la longueur et la largeur de la feuille de papier, ainsi que son épaisseur (qui dépend aussi du degré de liquidité de la pâte), un autre cadre mobile, nommé *frisquette*, s'applique sur la *forme*. L'*ouvreur* (fig. 25) plonge la *forme* recouverte de la *frisquette* dans la pâte, l'y maintient horizontalement, puis la retire dans la même position. Il lui imprime alors divers mouvements saccadés et de balancement, pour lier les filaments de la pâte et en faire une distribution égale.

Il faut à l'ouvrier une grande habitude pour opérer ici d'une manière convenable. Un ouvrier peut préparer 4,800 feuilles

par jour. L'ouvreur pousse ensuite la forme sur un plan incliné et retire la *frisquette*. Un autre ouvrier prend cette forme qui contient la pâte de papier, il la fait un peu égoutter, puis il la renverse sur un morceau de drap. La feuille de papier se détache de la forme, et l'ouvrier la recouvre d'un nouveau morceau de drap, qui recevra tout à l'heure une nouvelle feuille.

Par cet échange successif entre les deux ouvriers d'une forme pleine et d'une forme vide, les feuilles s'accumulent entre les morceaux de drap superposés.

Quand il y en a un nombre suffisant, on porte le tout sous une presse, pour en exprimer l'eau. On sépare alors les feuilles, on les fait sécher, on les colle, si le papier doit servir à l'écriture, dans une dissolution de gélatine, on remet en presse, pour faire pénétrer la colle partout, on sèche de nouveau, enfin on met les feuilles en *mains*, puis en *rames*.

Papier de paille, de bois et d'alfa. — Ce n'est pas uniquement avec le chiffon que l'on fabrique aujourd'hui le papier. La paille, le bois, le sparte, remplacent très souvent le chiffon, ou sont mélangés avec lui.

La paille et le bois ne peuvent servir qu'à la fabrication de papiers grossiers, mais le *sparte*, ou *alfa*, mêlé à la pâte de chiffons, donne des papiers magnifiques.

L'*alfa*, ou *sparte d'Algérie* (*Stipa tenacissima*), est une robuste graminée qui croît en abondance dans le nord de l'Afrique, en Espagne et en Grèce.

De tous les succédanés du chiffon, le sparte est celui qui, jusqu'ici, a donné les meilleurs résultats. Sa fibre, longue, souple et régulière, est d'un feutrage facile, et le papier qu'elle fournit, solide et plein, n'a rien de la sécheresse ni de la sonorité criarde du papier de paille.

En France, on fait encore peu usage de l'alfa pour la fabrication du papier, mais, en Angleterre, ce succédané du chiffon est en grande faveur. L'Angleterre a eu jusqu'ici le monopole presque absolu du commerce de cette plante et de sa transformation en pâte à papier. Chaque année, elle prend à l'Espagne 100,000 tonnes de *sparte* et à l'Algérie 50,000 tonnes d'*alfa*, dont elle fait 75,000 tonnes de pâte à papier.

On mêle le sparte au chiffon en proportions variables. Il entre une grande quantité de sparte dans le papier sur lequel

s'imprime le *Times*. Quelques journaux d'Écosse sont composés de 75 pour 100 de sparte.

Le commerce distingue le *sparte* de l'Espagne de l'*alfa* de l'Algérie ; cependant, au point de vue botanique, cette plante est la même dans l'un et l'autre pays.

Les appareils qui servent à fabriquer le papier avec la paille, le bois et l'*alfa*, sont les mêmes que ceux qui servent à traiter le chiffon. Aussi nous contenterons-nous de signaler ici l'emploi, dans la fabrication du papier, de ces trois matières végétales, qui, en raison de leur bas prix, ont aujourd'hui remplacé totalement les chiffons pour les papiers de qualité moyenne.

Le carton. — Le carton s'obtient avec de vieux papiers que l'on ramène à l'état de pâte. On broie cette pâte entre des meules de pierre ; on met ensuite cette pâte en feuilles épaisses, au moyen de formes, comme dans la fabrication du papier à la main.

Les papiers peints. — La fabrication des papiers solides et à très bas prix qui servent à recouvrir les murs de nos appartements, est originaire de la Chine et du Japon. Vers l'année 1555, les Hollandais et les Espagnols en introduisirent l'usage en Europe.

Le papier dit *velouté* fut le premier papier peint. Il remplaça les tapisseries d'herbe ou de jonc que l'on fabriquait, au Moyen âge, en France et en Angleterre, ainsi que les tentures de cuir doré richement gaufrées qui décoraient les salons et couvraient les murs des châteaux. On trouve encore çà et là de magnifiques débris de ces tentures de cuir chez les marchands d'antiquités.

Ce n'est qu'en 1760 que fut inventé le *papier peint* proprement dit, c'est-à-dire que l'on trouva le moyen d'appliquer sur le papier, au moyen de planches de bois gravées, des couleurs solides qui portent avec elles leur vernis et qui n'ont pas à redouter l'adhérence de la poussière.

L'impression des papiers peints se fait tantôt à la main, tantôt par voie mécanique.

Pour imprimer les papiers peints à la main, on se sert de planches de bois gravées en relief que l'ouvrier imprègne de couleurs, et qu'il applique sur le papier, à mesure que ce papier se déroule sur une table placée au-devant de lui (fig. 26). Un enfant enduit de couleurs un tampon de drap placé sur une table à roulettes, et l'ouvrier charge sa planche de couleurs en venant les prendre sur ce drap. Ensuite, il frappe, à l'aide d'un

marteau, sa planche, pour déposer la couleur sur le papier. Pour placer les dessins aux endroits voulus, il se sert de *picots* que porte la planche et qu'il place aux points de repère.

L'impression mécanique des papiers peints s'opère avec des cylindres de cuivre gravés en relief semblables à ceux qui servent à imprimer les indiennes. En 1780, on imprimait les papiers peints avec les mêmes planches qui servaient à imprimer les indiennes. Les machines actuelles diffèrent peu,

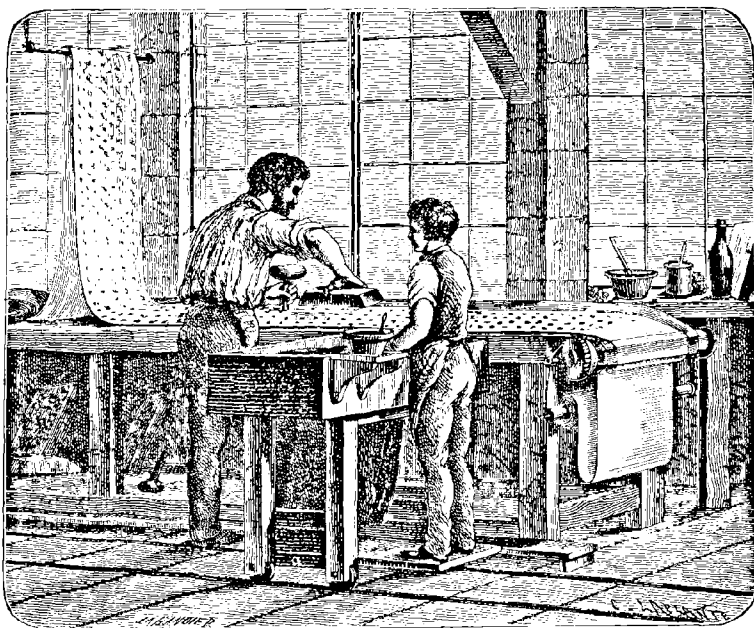


Fig. 26. Impression des papiers peints à la main.

d'ailleurs, de celles qui servent dans les fabriques de tissus.

Nous mettons sous les yeux du lecteur (fig. 27) une machine servant à imprimer des papiers peints en dix couleurs.

Le système mécanique pour imprimer les papiers peints se compose d'un gros cylindre creux, renforcé par des bras intérieurs et mû par la vapeur. Autour de ce cylindre sont fixées dix auges remplies d'une couleur différente. Chaque rouleau de cuivre portant le dessin gravé en relief est fourni de couleur puisée dans l'auge par une bande de drap qui voyage sans cesse de l'auge au papier. Le papier, se déroulant mécaniquement,

vient passer devant chacun de ces rouleaux, et reçoit l'impression en couleurs de ces derniers. Quand il a passé devant les

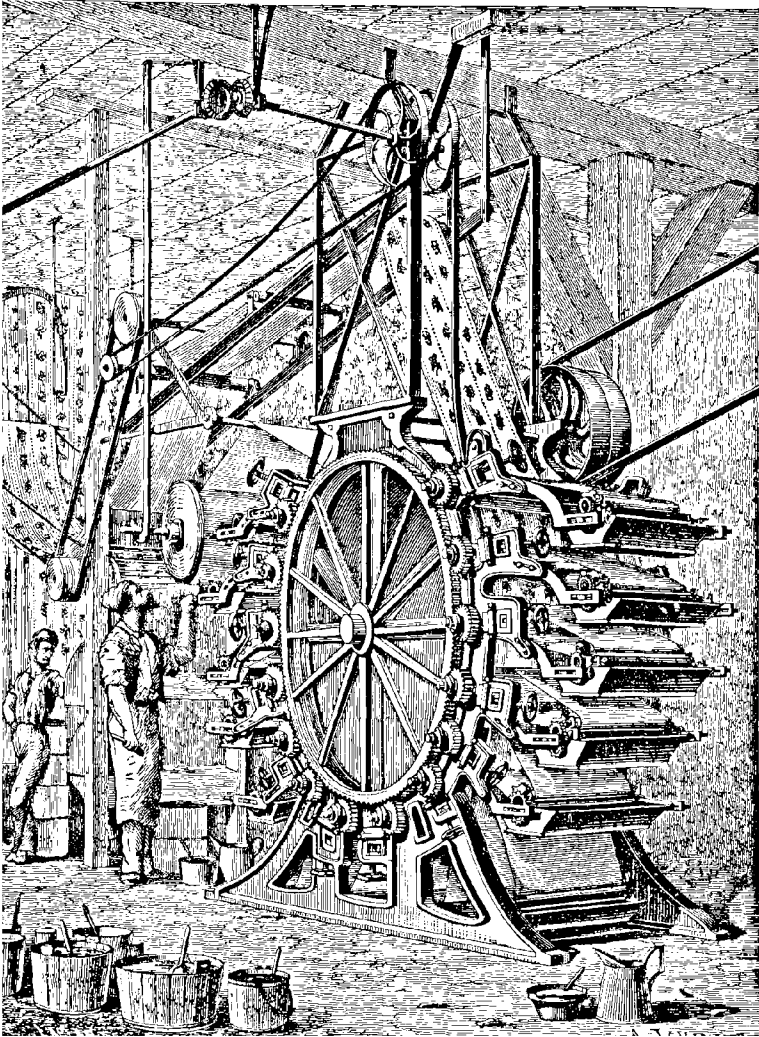


Fig. 27. Machine pour imprimer les papiers peints en dix couleurs.

derniers rouleaux, le papier est reçu sur des baguettes, et porté mécaniquement sur un étendoir, où il se sèche rapidement.



V

LA BOUSSOLE

La pierre d'aimant chez les Grecs et les Romains. — L'aiguille aimantée. — Histoire de la boussole. — La boussole chez les Chinois. — La boussole connue en Europe au douzième siècle. — Explication des phénomènes que présente l'aiguille aimantée. — La boussole terrestre. — La boussole marine. — Déclinaison et inclinaison de l'aiguille aimantée. — Utilité de la boussole.

On donne le nom d'*aimant naturel* à un oxyde de fer que certains terrains recèlent en abondance, et qui a la propriété d'attirer à soi le fer et quelques autres métaux, tels que le nickel et le cobalt.

D'après une légende grecque extrêmement ancienne, un berger, nommé *Magnès*, étant à la recherche d'une de ses brebis égarée sur le mont Ida, sentit que sa chaussure ferrée et le bout ferré de son bâton adhéraient fortement à un bloc noirâtre sur lequel il s'était reposé un moment : ce bloc était une pierre d'aimant. Ce n'est là qu'une légende, une fiction, mais son ancienneté prouve que la *pierre d'aimant* a dû être connue dans les temps les plus reculés chez différents peuples.

Les Grecs et les Romains ont, en effet, connu de très bonne heure l'*aimant*, qu'ils appelaient la *pierre*, c'est-à-dire la pierre par excellence ; mais ils se contentaient de l'admirer, sans en tirer le moindre parti. Ils savaient que l'aimant attire le fer, mais ils ont toujours ignoré sa vertu principale, c'est-à-dire la propriété dont jouit ce minerai de se diriger vers le Nord quand il est taillé sous forme d'ai-

guille et suspendu de manière à se mouvoir sans obstacles.

La boussole qui sert à diriger les navigateurs à travers les mers n'est autre chose, en effet, que l'aiguille aimantée qui, tenue en équilibre sur un pivot et pouvant se mouvoir en toute liberté, se dirige constamment vers le pôle boréal de la terre, et signale ainsi aux navigateurs la direction du Nord.

Les premiers navigateurs n'osaient trop s'écarter des côtes, et, s'ils gagnaient la grande mer, ils n'avaient pour guides que les étoiles, c'est-à-dire la connaissance de la situation qu'occupent dans le ciel certaines constellations à des époques déterminées. Les premiers navigateurs, les marins phéniciens et grecs qui parcouraient la Méditerranée, savaient quel groupe d'étoiles ils devaient laisser à gauche, quel autre ils devaient laisser à droite, pour se rendre d'un port à l'autre. Ulysse cherche pendant dix ans la route qu'il doit faire suivre à son vaisseau pour retourner à Ithaque, et c'est Calypso qui lui enseigne que, pour retourner en Grèce, il doit tenir les yeux fixés sur les *Pleiades*, sur le *Bowier* qui se couche tard, sur la *Grande Ourse*, qui ne plonge jamais dans l'Océan et qu'il doit laisser constamment à gauche.

Plus tard, les Phéniciens firent cette observation, fondamentale pour le navigateur, qu'il est une étoile qui donne la direction du Nord, car elle est à peu près immobile en toute saison. C'est l'étoile polaire. Dès lors, l'étoile polaire servit de guide aux navigateurs phéniciens. Mais, jaloux de conserver pour eux les privilèges des voyages maritimes, les Phéniciens se gardèrent bien de communiquer leur secret aux marins étrangers, de sorte que pendant deux cents ans ils conservèrent, une supériorité immense sur leurs rivaux.

Cependant l'usage de l'étoile polaire, comme guide de la navigation dans la haute mer, finit par se répandre parmi toutes les nations de l'Europe. Au Moyen âge, on appelait, en France, *tramontane* l'étoile polaire qui servait de guide au navire.

Mais, pour faire usage de l'étoile polaire, il faut que le ciel ne soit pas couvert de nuages, et ce n'est pas toujours le cas. Comment alors gouverner le navire et ne pas errer au hasard des flots? C'est pour cela que depuis les Phéniciens, c'est-à-dire depuis deux cents ans environ avant l'ère chrétienne

jusqu'au Moyen âge, la navigation dans la Méditerranée resta complètement stationnaire.

A cette époque, c'est-à-dire vers le milieu du douzième siècle, un changement subit se produit dans la navigation de la Méditerranée. Les marins génois, vénitiens, majorquais, ont le moyen de s'orienter avec certitude sans faire usage de l'étoile polaire, ni des autres constellations. Ils peuvent suivre leur route, que le ciel soit ou non couvert de nuages.

Comment fut réalisée cette révolution dans l'art nautique? Par l'emploi, à bord des navires, de la *boussole*, c'est-à-dire de l'aiguille aimantée rendue mobile et indiquant avec précision la direction du Nord.

Comment les marins de la Méditerranée avaient-ils eu connaissance de la boussole? L'avaient-ils inventée? Non. Ils avaient simplement appris son usage des marins arabes, avec lesquels ils s'étaient trouvés en contact pendant les croisades. Les Arabes tenaient la boussole des Indiens, et ces derniers eux-mêmes l'avaient reçue des Chinois.

Il est positif, en effet, que les Chinois sont les premiers peuples qui aient connu la *boussole*, et il est probable que c'est eux qui l'ont inventée ¹.

C'est pour se diriger sur la terre que les Chinois firent d'abord usage de la boussole. Ils appelaient *chars indicateurs du sud*, des chars portant une statuette qui tournait sur un pivot, et dont le bras étendu et composé d'une aiguille aimantée, indiquait toujours le Nord.

Le missionnaire Duhalde prétend que l'on faisait usage en Chine de ces *chars indicateurs du sud* dès l'année 2600 avant notre ère. Il cite un cas de l'emploi de cette boussole terrestre qui se rapporte à l'an 1000 avant Jésus-Christ.

Les Chinois eurent également le mérite d'appliquer la boussole à la navigation. Ils faisaient flotter une aiguille aimantée sur de l'eau contenue dans un vase. Environ 1000 ans avant Jésus-Christ les jonques chinoises se dirigeaient sur la mer grâce à l'aiguille aimantée ainsi disposée.

Comme il est dit plus haut, la boussole passa des Chinois aux Indiens, des Indiens aux Arabes, et les Arabes la commu-

1. *Lettre de Klaproth à de Humboldt sur l'invention de la boussole.* Paris, 1834.

niquèrent, au douzième siècle après Jésus-Christ, aux marins de l'Italie et de l'Espagne.

Un document fourni par l'histoire littéraire de la France, établit avec une complète évidence la connaissance de la boussole en Europe à la fin du douzième siècle. Un poète troubadour français, Guyot de Provins, décrit, vers l'année 1180 :

Une pierre laide et brunière
Où li fer volentiers se joint.

Ces deux vers constituent le titre historique le plus ancien et le plus authentique en faveur de la boussole européenne.

Ce n'est donc que vers le douzième siècle que la boussole fut connue des navigateurs de l'Europe. Hugo Bertin, qui vivait du temps de saint Louis, à peu près en même temps que Guyot de Provins, nous apprend qu'à cette époque on enfermait l'aiguille aimantée dans un vase de verre rempli d'eau, et qu'on la faisait flotter sur ce liquide, au moyen d'un fêtu de paille posé sur l'eau.

La première boussole dont les navigateurs se soient servis fut donc une aiguille aimantée flottant sur l'eau, comme le représente la figure 28. Mais les frottements du liquide devaient presque entièrement paralyser le mouvement de l'aiguille, et ce moyen ne pouvait fournir aucune indication certaine.



Fig. 28. Aiguille aimantée flottante.

A quel homme ingénieux vint l'heureuse idée d'enlever la *calamite* (c'est ainsi qu'on appelait alors l'aiguille aimantée) au fêtu au moyen duquel elle flottait sur l'eau, pour la placer sur un pivot d'acier pointu s'élevant du centre d'une boîte, c'est-à-dire pour composer la boussole proprement dite?

Les Italiens ont revendiqué le mérite de cette idée en faveur d'un pilote, Flavio Gioia, natif du royaume de Naples; mais cet honneur leur est contesté. Ce qui est certain seulement, c'est que les Italiens ont donné à ce précieux instrument le nom de *bussola*, d'où est venu son nom actuel.

Les Anglais ont prétendu, de leur côté, à la découverte de cette disposition de l'aiguille aimantée pour avoir attaché à cette aiguille un carton circulaire divisé en trente-deux parties; et qu'on nomme *rose des vents*.

Ajoutons que la fleur de lys, qui, chez toutes les nations maritimes, désigne le Nord, sur le carton où est figurée la *rose des vents*, prouve que la boussole a reçu des Français de notables perfectionnements.



Avant d'aller plus loin, il importe de donner l'explication du mouvement de l'aiguille aimantée qui compose essentiellement la boussole.

Le phénomène que nous présente l'aiguille aimantée, c'est-à-dire sa propriété constante de se diriger vers le Nord et de revenir toujours vers ce même point quand on l'écarte de cette direction, s'explique facilement si l'on considère, avec les physiciens, le globe terrestre lui-même comme un immense aimant naturel. La terre, dans son action magnétique, nous présente, en effet, tous les phénomènes qui sont particuliers aux aimants naturels et artificiels.

Si l'on roule dans de la limaille de fer un aimant naturel de forme oblongue, ou simplement un barreau aimanté (fig. 29), on remarque que la limaille de fer attirée par l'action



Fig. 29. Barreau aimanté.

magnétique n'est pas également distribuée sur toute la longueur de l'aimant ou du barreau aimanté. La limaille de fer se fixe principalement aux deux extrémités du barreau, et

sa quantité décroît rapidement à mesure qu'on s'éloigne de ces extrémités : à la partie moyenne du barreau, l'attraction est nulle, aucune parcelle de limaille de fer ne s'y attache. On nomme *pôles* les extrémités *a* et *b* de l'aimant, et *ligne neutre* la partie moyenne *nt* du barreau, où la force magnétique est presque nulle.

Les deux pôles d'un aimant, ou d'un barreau aimanté, paraissent exercer une action identique quand on les présente à de la limaille de fer ; mais cette identité n'est qu'apparente. Les physiciens admettent, dans un aimant, l'existence de deux sortes de fluides agissant chacun par répulsion sur lui-même et par attraction sur l'autre fluide, et dont les résultantes d'action seraient situées aux extrémités, ou pôles, de l'aimant.

En effet, si l'on suspend à un fil une petite aiguille aimantée *ab* (fig. 30), et que, tenant à la main une autre aiguille aimantée, *A*, on approche successivement l'extrémité *A* de cette aiguille des deux pôles *a* et *b* de l'aiguille suspendue, on voit que l'aiguille aimantée *A* attire l'extrémité, ou pôle *b*, de l'aiguille suspendue, et repousse, au contraire, l'extrémité, ou pôle *a*.

Tous les aimants jouissent de cette propriété : ils se repoussent par leurs pôles de même nom, et l'on a posé en physique la loi suivante sur l'action réciproque des aimants : *Les pôles magnétiques de même nom se repoussent, et les pôles de nom contraire s'attirent.*

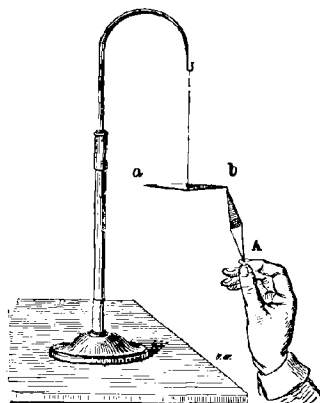


Fig. 30. Aiguille aimantée suspendue à un fil.

Un simple jouet va rappeler au lecteur la réalité de ce principe. Quand on tient à la main (fig. 31) ces petits barreaux aimantés qui servent aux enfants, pour attirer un autre corps aimanté flottant sur l'eau, comme un cygne, un poisson, etc., formés eux-mêmes de fer aimanté, comme le barreau, si l'on



Fig. 31. Le cygne aimanté.

vient à retourner le barreau, c'est-à-dire à présenter au corps attiré l'extrémité qui était tout à l'heure à la main, on voit ce corps cesser d'être attiré, et même être repoussé.

Les extrémités, ou *pôles*, des aimants, jouissent donc de propriétés antagonistes : l'une repousse ce que l'autre attire.

La terre peut être considérée comme un aimant de dimensions colossales, car elle produit, en agissant sur les différents corps magnétiques, tous les phénomènes que l'on observe dans l'action réciproque que les aimants exercent les uns sur les autres. Si une aiguille aimantée, librement suspendue et mobile sur un pivot, se dirige constamment vers le Nord, c'est-à-dire subit de la part du globe terrestre une attraction dont le sens est toujours le même, cela tient à ce que le globe, agissant à la manière ordinaire des aimants, attire l'un des pôles de cette aiguille vers son propre pôle de nom contraire. C'est absolument le cas de deux aimants agissant l'un sur l'autre et s'attirant par leurs pôles de nom contraire : l'un de ces aimants, c'est la terre ; l'autre, c'est l'aiguille aimantée que nous considérons.

Ainsi que tous les aimants naturels ou artificiels, la terre présente deux pôles jouissant de propriétés opposées et une *ligne neutre*. Comme on l'observe sur tous les autres aimants, l'attraction magnétique du globe est plus puissante à ses deux extrémités, ou à ses deux *pôles*, et presque nulle à son centre de figure, c'est-à-dire à son *équateur*. En effet, l'action magnétique de la terre s'accroît à mesure que l'on s'approche de l'un ou de l'autre des pôles terrestres, et elle est presque nulle à l'équateur de notre globe.

En résumé, le phénomène propre à l'aiguille aimantée s'explique aisément, si l'on considère notre globe comme un immense aimant, dont les deux pôles seraient à peu près situés aux pôles terrestres, et dont la ligne neutre coïnciderait presque avec l'équateur.



Pendant longtemps on a cru que l'aiguille aimantée se dirigeait partout exactement vers le Nord. C'est Christophe Colomb qui s'aperçut le premier, en 1492, dans le célèbre voyage où fut découvert le Nouveau-Monde, que l'aiguille de la boussole déviait sensiblement du vrai Nord.

En 1599, les navigateurs hollandais dressèrent des tables pour constater cette variation dans différents lieux de la terre. D'autres observateurs remarquèrent que non seulement la déviation de l'aiguille variait en passant d'un lieu à un autre, mais

encore qu'elle variait au bout d'un certain temps dans le même lieu. Dès lors on distingua la direction variable de l'aiguille de la direction absolue du méridien astronomique, et par analogie on donna à la première le nom de *méridien magnétique*.

L'angle que font entre eux ces deux méridiens se nomme la *déclinaison*. Selon que la pointe nord de l'aiguille se tient à l'est ou à l'ouest de la méridienne, on dit que la déclinaison est *orientale* ou *occidentale*.

Les marins appellent *variation du compas* la déclinaison de l'aiguille aimantée.

Cette déclinaison est très variable d'un lieu à un autre : elle est occidentale en Europe, orientale en Amérique et dans le nord de l'Asie. Mais dans un même lieu elle présente de nombreuses variations : les unes sont régulières, les autres sont irrégulières et se nomment *perturbations*.

Les aurores boréales, les éruptions volcaniques, les chutes de foudre, troublent accidentellement la déclinaison de l'aiguille aimantée. Quant aux variations régulières, elles sont séculaires, annuelles ou diurnes. Ainsi, on a pu constater, d'après des tables rigoureusement tenues, qu'à Paris la déclinaison a varié de plus de 31° depuis 1580. Elle était de 11° 30' à l'Est. En 1581, elle était de 20° 25' à l'Ouest. En 1663, on a remarqué que la déclinaison était nulle, c'est-à-dire que le méridien magnétique et le méridien terrestre se sont trouvés confondus dans le même plan.

Jusqu'en 1575, on avait toujours supposé que l'aiguille aimantée devait être parfaitement horizontale. Quand on la voyait s'abaisser plus d'un côté que d'un autre, on attribuait cette inclinaison à une détermination erronée du centre de gravité de l'aiguille. A cette époque, Robert Norman, fabricant d'instruments à Londres, reconnut, par une expérience bien simple, qu'il y avait dans l'inclinaison de l'aiguille une influence autre que celle de la pesanteur. S'étant avisé de mesurer le poids nécessaire pour rétablir la complète horizontalité d'une aiguille aimantée, il trouva que ce poids n'était pas en rapport avec la différence de la longueur des deux branches de l'aiguille, et que, par conséquent, cette inclinaison était due à une cause autre que l'inégalité de poids entre les deux côtés de l'aiguille.

Qu'on suspende une aiguille aimantée gg' (fig. 32) de manière qu'elle se meuve librement autour de son centre de gravité, dans le plan vertical du méridien, et qu'elle soit empêchée par un châssis de se mouvoir dans le sens horizontal,

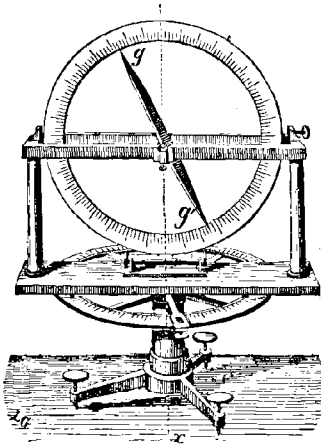


Fig. 32. Appareil pour mesurer l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

nomment *pôles magnétiques*. La ligne de la région équatoriale, où l'aiguille demeure, au contraire, horizontale, se nomme l'*équateur magnétique*.



Tous ces principes étant posés, nous aborderons la description de la boussole, qui n'aurait pu être comprise sans ces explications préalables.

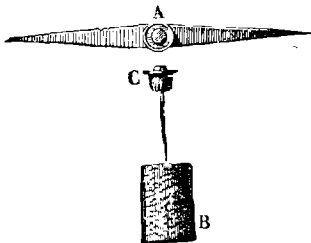


Fig. 33. L'aiguille et la chape de la boussole.

La figure 33 représente l'élément essentiel de la boussole, c'est-à-dire, d'une part, l'aiguille aimantée, A, d'autre part, le pivot, B, muni d'une chape d'agate, C, sur laquelle repose l'aiguille aimantée, libre de se mouvoir dans le plan horizontal.

La boussole présente différentes formes, selon les usages auxquels elle est destinée. On peut distinguer la *boussole terrestre* et la *boussole marine*.

La *boussole terrestre*, ou *boussole portative* (fig. 34), est la disposition la plus simple de cet instrument. C'est une boîte plate au centre de laquelle s'élève un pivot supportant une chape d'agate ou de cuivre, sur laquelle repose l'aiguille, ce qui rend ses mouvements extrêmement faciles. Autour de la boîte on a tracé une *rose des vents* et une division en degrés. Le point de départ de cette division est l'extrémité du diamètre du cercle. On appelle *ligne de foi*, ce diamètre (NS), qui n'est autre chose que le méridien astronomique, c'est-à-dire la direction absolue du nord de la terre. L'angle que forme l'aiguille de la boussole avec la *ligne de foi*, donne la direction du Nord, dans le lieu de l'observation.

Cette forme de boussole est d'un usage très varié. Le géologue s'en sert pour reconnaître la direction des chaînes de montagnes, des collines et des vallées. Le mineur l'emploie pour fixer la direction d'un filon. Les voyageurs qui parcourent un pays inconnu, la consultent pour reconnaître la direction de la route qu'ils suivent.

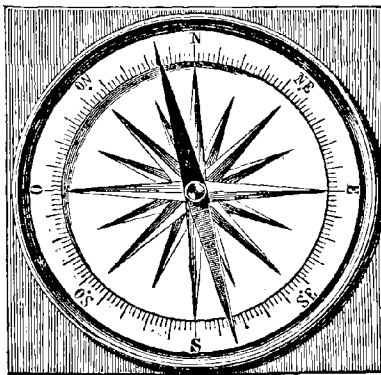


Fig. 34. Boussole terrestre.

Les arpenteurs utilisent la boussole pour relever le plan d'une localité ou pour orienter une construction.

La boussole des arpenteurs a une forme particulière, que nous représentons dans la figure 35.

La boussole proprement dite est enchâssée dans une boîte carrée posée sur un trépied, E, au moyen d'une genouillère. On la rend horizontale au moyen de deux *niveaux à bulle d'air*, n, n'. Une lunette, LL', fixée sur l'un des côtés de la boîte, en même temps qu'elle sert à viser les objets dont on veut relever le gisement exact, représente la *ligne de foi*, ou *méridien astronomique*.

La *boussole marine*, que l'on appelle, à bord des vaisseaux, le *compas* ou *compas de route*, se compose d'une aiguille ai-

mantée en équilibre et très mobile sur un pivot. On la place dans une boîte circulaire en bois ou en cuivre. Le fer est rigoureusement banni de sa construction, car ce métal attirerait

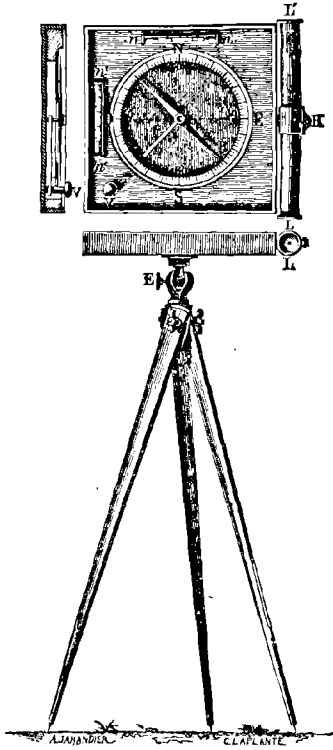


Fig. 35. Boussole d'arpenteur.

l'aiguille aimantée et changerait sa direction.

Un carton circulaire est placé au-dessous de l'aiguille : son centre correspond à la fois au milieu de la longueur de l'aiguille et à la verticale du pivot.

Ce disque de carton accompagne l'aiguille dans tous ses mouvements et en modère les oscillations.

La figure 36 donne la coupe d'une boussole marine. *cd* représente la coupe de la boîte, dans l'intérieur de laquelle l'aiguille aimantée *b* est suspendue ; *f, f* sont des ouvertures transversales pour ouvrir ou fermer la boîte.

On appelle *rose* ou *rose des vents* un cercle placé au-dessous de l'aiguille de la boussole, et dont le centre est placé sur la ligne verticale du pivot. La circonférence de ce cercle porte

trente-deux divisions égales, qu'on nomme *rumb*s ou *aires des vents*. Les quatre principales

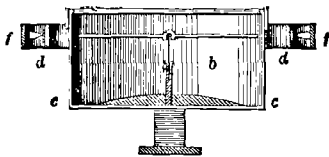


Fig. 36. Coupe d'une boussole.

pointes de la rose désignent les quatre points cardinaux : Nord, Sud, Est et Ouest. Ces quatre divisions principales se subdivisent ensuite en quatre autres intermédiaires, qui sont : Nord-Est, Sud-Est, Sud-Ouest et Nord-Ouest : on les appelle aussi *demi-rumb*s. Ceux-ci se

divisent en quarts de rumb, et ces derniers en demi-quarts de rumb.

La figure 37 représente la *rose des vents*, avec ses divisions ; le milieu de l'aiguille, qui n'est pas représentée ici, en occupe le centre.

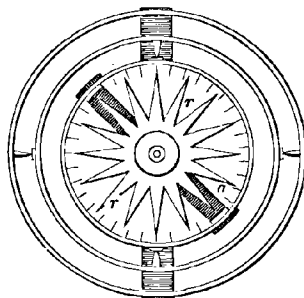


Fig. 37. Rose des vents.

L'aiguille aimantée de la boussole marine est disposée de manière à pouvoir se prêter à tous les mouvements du navire, sans perdre son horizontalité. A cet effet, par un système particulier de suspension, on maintient la boîte qui la renferme dans une direction constamment horizontale, quelle que soit l'inclinaison du vaisseau.

On voit sur la figure 38 la manière dont la boîte est suspendue pour qu'elle conserve toujours une horizontalité parfaite, malgré les mouvements divers que subit le navire, secoué par les flots et incliné par leurs chocs sur son axe ou dans sa longueur.

Deux axes de rotation sont perpendiculaires l'un à l'autre ; l'un, A, reste constamment horizontal ; l'autre, B, B, tourne autour de lui. En d'autres termes, la boussole est soutenue par deux tourillons dans un anneau, lequel est lui-même suspendu par deux autres tourillons placés en croix avec les premiers. La boussole demeure donc immobile et toujours horizontale, malgré les mouvements les plus tumultueux du navire.

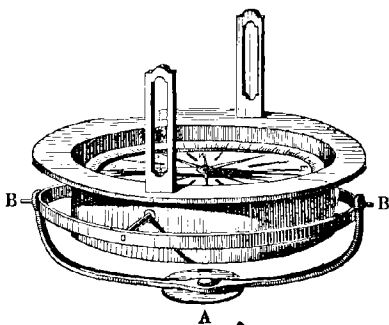


Fig. 38. Boussole avec sa suspension.

On appelle ce mode de suspension de la boussole *suspension à la Cardan*. Le physicien Cardan, qui vivait à l'époque de la Renaissance, est, en effet, l'inventeur de ce mode ingénieux de suspension, qui est appliqué en différents autres cas.

On appelle *habitable*, à bord des bâtiments de guerre, la boîte qui renferme la boussole. Il y a toujours deux *habitables* placés à droite et à gauche de la roue du gouvernail et un peu en avant.

La boussole sert à diriger la proue du navire, ou le *cap*, comme disent les marins, vers le lieu où le navire doit se rendre. A l'intérieur de la boîte on a tracé un trait vertical, placé de manière que le rayon qui y aboutit soit exactement en parallèle à l'axe du vaisseau. En examinant la situation de l'aiguille sur le cadran de la boussole par rapport à la boîte, on

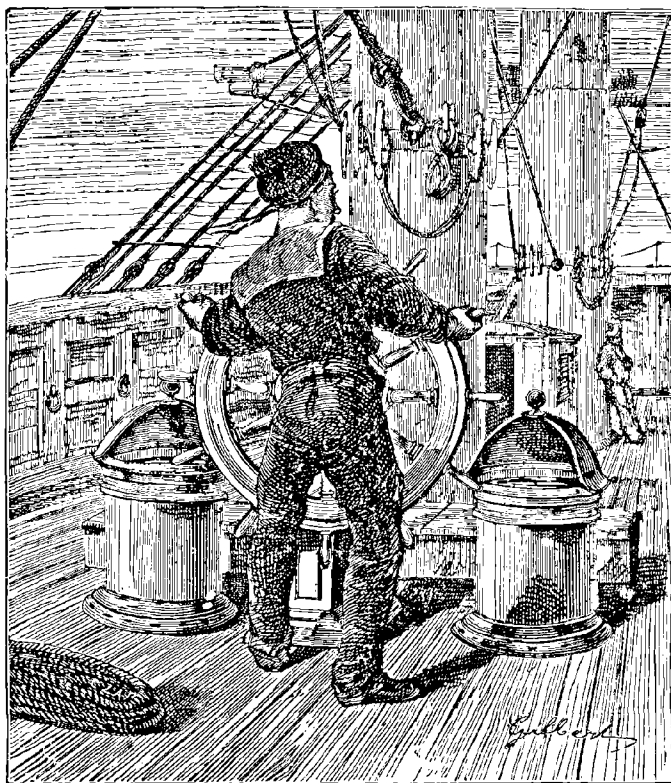


Fig. 39. Compas de marine.

sait donc dans quelle direction la proue du navire s'avance sans être obligé de regarder plus loin. Quand le capitaine ordonne au timonier de gouverner selon tel ou tel *rumb* de vent, le timonier maintient le gouvernail de manière que le cap réponde toujours au rumb qui lui est prescrit (fig. 39), car la direction de la quille varie selon que le trait du *cap* correspond à tel ou tel rayon de la rose.

La boussole est pour le navigateur l'instrument le plus précieux ; c'est grâce à ses indications qu'il peut toujours connaître avec certitude la marche de son navire.

Cet instrument rend aussi, comme on l'a vu plus haut, beaucoup de services à terre. Au sein d'une épaisse forêt, au fond d'une mine profonde, la boussole indique à l'observateur la direction du Nord; elle lui permet, par conséquent, de reconnaître le lieu qu'il occupe, et lui trace la marche à suivre pour se rendre au lieu désiré. Les ouvriers qui travaillent au fond des mines n'ont aucun autre moyen que la boussole pour diriger dans un sens donné leurs travaux, leurs constructions, leurs galeries.

Dans le percement des galeries souterraines sans communication verticale avec l'extérieur, comme il est arrivé dans le creusement du tunnel du mont Cenis (terminé en 1871) et du tunnel du mont Saint-Gothard (terminé en 1880) la boussole était le seul moyen de diriger en ligne rigoureusement droite l'axe de la galerie que l'on perceait en même temps par ses deux bouts opposés.



VI

LES HORLOGES ET LES MONTRES

Historique. — La clepsydre ou l'horloge des anciens. — Le sablier. — Le cadran solaire. — Imperfection du procédé usité au Moyen âge pour la mesure du temps. — Découverte des horloges à poids. — Application du pendule des physiciens aux horloges. — Découverte des montres. — Description des horloges, des pendules et des montres. — Horloges fixes. — Régulateur des horloges. — Pendules d'appartement. — La fusée et le barillet. — Montres. — Sonnerie. — Horloges astronomiques. — L'horlogerie électrique. — Description d'une horloge mue par un courant électrique venant d'une horloge type. — Les horloges pneumatiques, leur mécanisme. — Les horloges pneumatiques établies à Vienne en 1877 et à Paris en 1880.

La première horloge dont l'histoire fasse mention est la *clepsydre*. C'était un vase plein d'eau, percé d'un petit trou à sa partie inférieure.

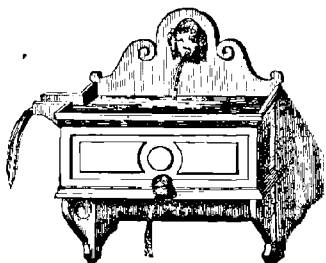


Fig. 40. Principe de la clepsydre.

La clepsydre est fondée sur le principe suivant : Des quantités égales de liquides s'écoulent d'un vase en des temps égaux, quand on maintient constante la hauteur de l'eau (fig. 40). D'après ce principe, on peut mesurer le temps en mesurant le volume d'eau qui s'est écoulé

d'un vase dans un intervalle de temps déterminé.

La *clepsydre simple*, appareil insuffisant et grossier, fut employée longtemps par les Grecs et les Romains sans aucune modification ¹. Par un premier perfectionnement, on traça à

1. On trouve dans les discours de Démosthène des allusions à la manière de fixer la durée des discours au moyen de la clepsydre. Cet orateur disait : « Vous empiétez sur mon eau. »

l'extérieur du vase d'où l'eau s'écoulait des divisions égales entre elles, ce qui donna, en fractions égales, la subdivision du temps.

Par un progrès nouveau, la clepsydre perdit son antique simplicité. On la munit d'un cadran, dont les aiguilles marchaient par le mécanisme suivant. A la surface de l'eau continue, dans le réservoir, nageait un flotteur qui, en s'abaissant au fur et à mesure de l'écoulement de l'eau, tirait verticalement un fil enroulé sur l'axe d'une aiguille, laquelle recevait ainsi un mouvement rotatoire autour du cadran. C'était là un progrès; car si l'agent moteur de l'horloge était toujours grossier, la manière de mesurer les fractions du temps avait reçu un perfectionnement réel.

Ce cadran indiquait les heures; mais la période du temps ainsi mesurée était trop courte. On parvint à résoudre le problème d'une plus longue durée de la marche des horloges en faisant mouvoir les aiguilles du cadran au moyen de deux roues dentées de diamètre différent, dont l'une indiquait les heures et l'autre les minutes.

Cette dernière disposition se voit sur la figure 41, qui représente la clepsydre perfectionnée et munie d'un cadran.

Ctésibius, d'Alexandrie, fit construire, 250 ans avant Jésus-Christ une clepsydre très compliquée.

Il paraît que la clepsydre avait également reçu chez les Orientaux d'importants perfectionnements, car lorsque, 62 ans avant Jésus-Christ, Pompée rentra à Rome, triomphant de Tigrane, d'Antiochus et de Mithridate, on admirait, comme le plus glorieux trophée de sa victoire, une clepsydre perfectionnée, conquise sur un roi d'Asie.

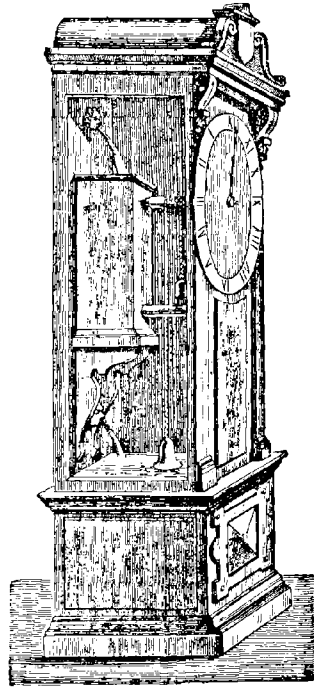


Fig. 41. Clepsydre à roue dentée et à cadran.

Chez les anciens, deux autres instruments étaient consacrés à la mesure du temps : c'étaient le sablier et le cadran solaire.

Le *sablier* qui sert à la mesure du temps se compose (fig. 42)

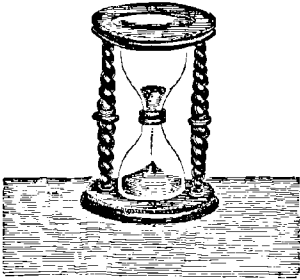


Fig. 42. Sablier.

de deux petites bouteilles dont les goulots, très étroits, sont réunis. Une des petites bouteilles contient du sable fin. L'intervalle que ce sable met à s'écouler d'une bouteille dans l'autre sert à la mesure du temps.

Le sablier fut employé en Égypte, dès les temps les plus anciens, comme moyen de mesurer le temps. Les Romains en

faisaient usage concurremment avec la clepsydre. Le sablier servait encore dans les assemblées de Sorbonne en 1656. On le voit toujours figurer aux examens des élèves des Facultés de médecine et des Écoles de pharmacie, à Paris, à Nancy, à Montpellier, à Lyon, à Bordeaux, etc.

Les indications du cadran solaire reposent sur les positions du soleil et de l'ombre aux différents moments du jour ; c'est une des belles applications de la géométrie. On attribue cette invention aux physiciens de l'École d'Alexandrie, ville de l'Égypte où les rois de la dynastie des Ptolémées fondèrent, deux siècles avant Jésus-Christ, une école dans laquelle les sciences physiques et mathématiques étaient enseignées avec éclat.

Le *cadran solaire* est un instrument sur lequel le temps est mesuré par le mouvement de l'ombre que projette, sur une surface plane, une tige éclairée par le soleil.

Le cadran solaire était un instrument très important sans doute, mais incomplet, puisque ses indications disparaissent la nuit et pendant l'absence des rayons du soleil.

Du quatrième au dixième siècle de l'ère chrétienne, les sciences demeurèrent, en Europe, enveloppées des ténèbres de la barbarie. Le dépôt des sciences appartenait, à cette époque, aux races mahométanes, c'est-à-dire aux Arabes d'Afrique et aux Maures d'Espagne. Au neuvième siècle, un kalife d'Orient, Haroun-al-Raschid, étonnait la cour de Charlemagne par l'envoi d'une clepsydre. Dans ce temps d'ignorance, l'Europe avait oublié jusqu'à l'art de mesurer le temps,

que les anciens lui avaient transmis. Les religieux du Moyen âge en étaient réduits à observer le ciel pour faire sonner les matines. Il est établi qu'en 1108, dans la riche abbaye de Cluny, le sacristain consultait les astres quand il voulait savoir s'il était l'heure de réveiller les religieux pour les offices de la nuit.

Au dixième siècle, les moines de plusieurs monastères allemands réglaient leurs offices d'après le chant du coq.

La première mention des horloges se trouve dans les *Usages de l'ordre de Cîteaux*, réunis vers l'an 1120, livre où il est prescrit au sacristain de régler l'horloge de l'abbaye de manière qu'elle sonne avant les matines.

En 1370, du temps de Charles V, parut en France une horloge très remarquable. Elle avait été fabriquée par un Allemand, Henri de Vic. Charles V fit venir ce savant à Paris, pour y construire l'horloge du palais.

L'horloge de la tour du palais de Charles V renfermait les principaux éléments de précision des horloges actuelles. Elle avait pour agent moteur un poids, pour régulateur une pièce oscillante, et était pourvue d'un échappement.

Ce n'était là pourtant que l'enfance de l'horlogerie. Ces machines chronométriques étaient nécessairement lourdes et incommodes : le moteur de l'horloge du palais de Charles V pesait cinq cents livres.

C'est au quinzième siècle que l'on commença à se servir des horloges dans les observations astronomiques, et l'on sait quels rapides progrès l'application de ces instruments imprima à l'astronomie. Le maître de Keppler, l'astronome danois, Tycho-Brahé, possédait, en 1569, dans son magnifique observatoire d'Uranienbourg (dans l'île d'Hueno, possession du Danemark), une horloge à minutes et secondes.

La plus grande découverte qui ait été faite dans les instruments chronométriques, c'est l'emploi du pendule des physiciens pour régler l'uniformité des mouvements d'une horloge.

Qu'est-ce que le pendule des physiciens? C'est une tige métallique terminée par un corps pesant (fig. 43). Si l'on suspend cet appareil par l'extrémité de sa tige et qu'on le dérange de sa position verticale, il décrit, à droite et à gauche de cette position, des allées et des venues,



Fig. 43.
Pendule.

qu'on nomme *oscillations du pendule*. Ces oscillations sont toujours d'égale durée, c'est-à-dire *isochrones*, selon le terme consacré, si elles sont petites, bien que l'arc décrit par la lentille diminue de grandeur, par suite de la résistance de l'air et du frottement au point de suspension.

La découverte de l'*isochronisme* des oscillations du pendule est due à l'immortel Galilée. En 1582, Galilée, alors dans sa jeunesse, reconnut pour la première fois ce fait capital, en constatant l'uniformité complète des oscillations d'une lampe



Fig. 44. Galilée.

qui était suspendue par une très longue chaîne à la voûte de l'église métropolitaine de Pise. Ce n'est toutefois que plus de quarante ans après avoir fait cette observation que Galilée eut la pensée de construire une horloge d'après le principe des oscillations isochrones du pendule. Ajoutons qu'il n'exécuta point lui-même ce projet ; il se borna à indiquer théoriquement la possibilité de tirer parti

du pendule pour donner une égalité absolue aux impulsions du moteur des horloges.

Cette magnifique application d'un principe de la physique fut réalisée par un savant hollandais, Christian Huygens, qui avait fixé sa résidence en France, grâce aux encouragements du ministre Colbert.

Christian Huygens, l'un des plus beaux génies du dix-septième siècle, ne se borna pas à transporter dans la pratique l'idée de Galilée sur l'application du pendule à la mesure du temps, il fit une seconde découverte d'une importance égale à la première : celle du ressort en spirale, qui, par

l'effort qu'il exerce en se détendant, permet de remplacer le poids dont on avait fait exclusivement usage jusque-là comme moteur des horloges.

En 1657, Christian Huygens envoya aux États généraux de la Hollande la description d'une horloge destinée à mesurer, avec une exactitude absolue, les plus petites divisions du temps. Cet instrument renfermait les deux inventions capitales qui servent de base à l'horlogerie moderne, à savoir : le ressort en spirale comme moteur, et le pendule servant à régulariser et à rendre isochrone l'action de ce moteur. En effet, le ressort en spirale, le régulateur et l'échappement résument à eux seuls les moyens mécaniques qui sont le fondement de toute l'horlogerie.



Fig. 45. Huygens.

Huygens avait compris dès le début toute la portée de ses découvertes. Voici ce qu'il écrivait, en 1673, à Louis XIV, en lui dédiant son *horologium oscillatorium* (*horloge oscillatoire*) :

« Je ne perdrai pas le temps, grand roi, à vous démontrer toute l'utilité de mes *automates*, puisque, introduits dans vos appartements, ils vous frappent chaque jour par la régularité de leurs indications et les conséquences qu'ils vous promettent pour les progrès de l'astronomie et de la navigation. »

La découverte du ressort spiral qui produit, par sa force d'élasticité, l'effet du poids moteur des horloges, permit de construire des horloges portatives, qui, plus tard, étant réduites à de plus petites dimensions, furent appelées *montres*.

On ne connaît ni l'époque ni l'auteur de la construction des premières montres.

Quoique très commodes, les premières montres ne pouvaient donner l'heure avec exactitude, parce qu'on n'avait pas fait à ces instruments l'application de la *fusée*, qui égalise et rend uniforme la force motrice.

L'inventeur de la *fusée* n'est pas connu, et cependant cet organe mécanique est une des plus belles inventions de l'esprit humain.

Les montres à répétition furent inventées en Angleterre, en 1676. Les horlogers Barlow, Quare et Tompson, s'en disputèrent la découverte. Louis XIV reçut de Charles II, roi d'Angleterre, les premières montres à répétition que l'on ait vues en France.

Le dix-huitième siècle, fécond en inventions nouvelles, vit briller dans l'horlogerie les noms des Sully, Pierre et Julien le Roi, Ferdinand Berthoud, Lepaute, Harriison, Bréguet. C'est alors qu'on fabriqua les montres marines, ou *chronomètres*, instruments admirables par leur précision et leur exactitude.



L'art de l'horlogerie moderne, qui résulte des inventions successives dont nous venons de présenter l'histoire abrégée, s'occupe de construire des horloges, des pendules, des montres, enfin des *chronomètres*, genre d'instruments destinés à mesurer des fractions de temps avec la justesse la plus rigoureuse, et qui sont d'un mécanisme plus compliqué que celui des montres. Nous nous bornerons à examiner ici les horloges fixes, les pendules d'appartement et les montres. Notre but n'est pas de décrire complètement ces appareils, ni d'expliquer la marche réciproque de tous leurs rouages ; nous essayerons seulement de faire comprendre le jeu des pièces principales qui produisent le mouvement des aiguilles sur le cadran.

Horloges fixes. — Dans les horloges fixes, telles que les grandes horloges des édifices publics, l'agent moteur est un poids, P (fig. 46), suspendu à l'extrémité d'une corde qui fait un certain nombre de tours sur la surface d'un cylindre horizontal, A. Ce cylindre peut tourner autour de son axe, et il reçoit un mouvement de rotation du poids P, qui tend constamment à descendre par l'action de la pesanteur. Le mouvement de rotation du cylindre A est transmis aux deux aiguilles

du cadran, au moyen d'une roue dentée, B, soudée au cylindre A, et qui fait tourner, par son pignon et par un engrenage intermédiaire, D, une autre roue dentée, CC', et enfin le volant V.

Les rouages de l'horloge, ainsi mis en mouvement par le moteur, tourneraient d'une manière continue, mais non uniforme, comme ceux d'un tourne-broche de cuisine, c'est-à-dire que les aiguilles auxquelles le mouvement est communiqué par l'action du poids moteur ne parcourraient pas des espaces égaux pendant des temps égaux, par suite de l'inégalité des divers rouages. Il faut donc remédier à ce défaut d'uniformité dans l'action motrice. On y parvient au moyen d'une pièce qui oscille régulièrement et qui, à chaque oscillation, arrête entièrement, et à des intervalles égaux, l'action du moteur. On obtient par cet artifice un mouvement intermittent périodiquement uniforme : cette pièce oscillante a reçu le nom de *régulateur*.

Pour les horloges fixes, le régulateur, c'est le *pendule* des physiciens, qui est habituellement désigné, dans ce cas, sous le nom de *balancier*. En lui donnant une longueur bien rigoureusement calculée, le pendule produit une oscillation par seconde, et sert à indiquer ainsi sur le cadran cette fraction du temps.

Les pièces par l'intermédiaire desquelles le *pendule*, ou *balancier*, arrête à chaque seconde le mouvement produit par le poids moteur, constituent ce qu'on nomme l'*échappement*. L'échappement le plus employé est dit *à ancre* ; nous allons le décrire rapidement.

Une pièce *qn* (fig. 47), en forme d'ancre de vaisseau, fixée sur le pendule, A, reçoit de celui-ci un mouvement d'oscilla-

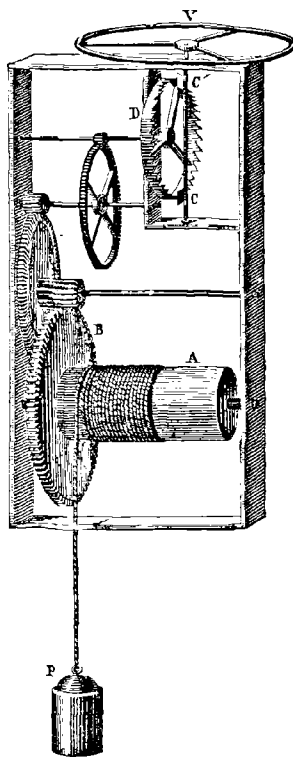


Fig. 46. Poids moteur et rouages d'une horloge.

tion autour d'un axe de suspension a . Entre les deux extrémités q , n de cette même pièce, se trouve une roue dentée pm , que le *moteur de l'horloge* fait tourner. Les dents de cette roue s'appuient alternativement sur la face inférieure d'une des

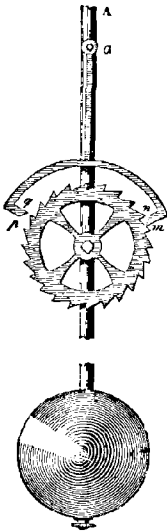


Fig. 47.
Échappement
à ancre.

extrémités de l'ancre et sur la face supérieure de l'autre extrémité, et ces extrémités sont elles-mêmes taillées de manière que, pendant tout le temps qu'une roue est arrêtée par l'une des extrémités de l'ancre, cette dent reste immobile, comme la roue elle-même. Ce mouvement est rendu intermittent et égal, parce qu'il n'est mis en action que par les oscillations isochrones du pendule.

On voit donc que les aiguilles du cadran d'une horloge ne marchent pas sur ce cadran d'une manière continue, mais par petites saccades, provenant des mouvements brusques de l'échappement. Comme les aiguilles se déplacent à chaque saccade d'une très faible quantité, on les croit animées d'un mouvement continu; mais, si on les observe avec attention, on verra que leur mouvement n'est pas continu, mais procède par des impulsions successives.

Pendules d'appartement. — Ce n'est que dans les grandes horloges que l'agent moteur est un simple poids. Le moteur qui est en usage dans les *pendules d'appartement*, c'est-à-dire dans les horloges portatives ainsi que dans les *montres*, est un ressort formé d'une lame d'acier

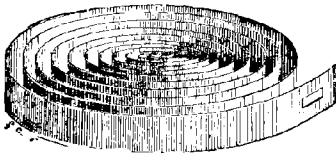


Fig. 48. Ressort de pendule.

mince et longue, enroulée autour d'elle-même en spirale, comme le montre la figure 48.

Supposons qu'on attache l'extrémité intérieure du ressort, celle qui occupe le centre de la

spirale, à un axe qui puisse tourner sur lui-même, l'extrémité extérieure de ce ressort étant fixée à un point immobile. Si l'on enroule cet axe sur lui-même au moyen d'une clef, les spirales se serreront de plus en plus en s'appliquant l'une sur l'autre : le ressort sera alors *tendu*, selon l'expression ordinaire. Si l'on abandonne maintenant l'axe à lui-même, que fera le

ressort ? Il fera effort pour reprendre sa position primitive, il se détendra, c'est-à-dire que ses lames s'écarteront, pour revenir à leur situation première; mais en même temps, et par l'effet de ce mouvement, dû à son élasticité, le ressort imprimera à l'axe auquel il est attaché un mouvement de rotation.

Voilà tout le secret du ressort, ou *spiral*, qui fait marcher les aiguilles des pendules d'appartement et des montres.

Mais l'action du ressort est-elle constante, toujours égale, comme l'est celle du poids moteur des horloges? Non. La force d'un ressort va en diminuant sans cesse, depuis le moment où il commence à agir en se détendant, jusqu'au moment où il a repris sa forme primitive. Le moteur spiral n'a donc pas cette action constante qui est nécessaire à l'harmonie du mécanisme. Voyons comment on est parvenu à lui rendre cette qualité indispensable.

On enferme le ressort dans une petite boîte circulaire, A, en forme de tambour, nommée *barillet* (fig. 49). Sur la sur-

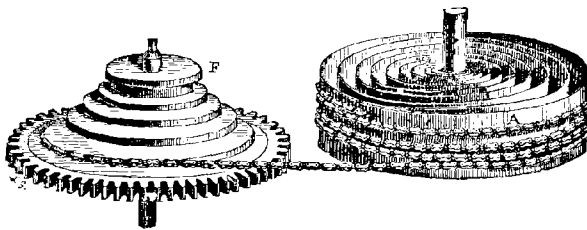


Fig. 49. La fusée et le barillet d'une pendule ou d'une montre.

face extérieure du barillet, est enroulée une chaînette d'acier, qui, après avoir fait un certain nombre de tours sur cette surface, vient s'enrouler sur un tambour conique creusé d'une rainure disposée en spirale, lequel reçoit les divers tours de la chaînette. Ce tambour conique, F, a reçu le nom de *fusée*. Quand le ressort est complètement tendu, la chaîne est enroulée sur toute la surface de la fusée; mais, à mesure que le ressort se détend, il fait tourner le barillet auquel il est attaché, et en même temps la fusée par l'intermédiaire de la chaîne. Celle-ci se déroule donc sur la *fusée* et s'enroule sur le *barillet*. Nous savons que la force de tension du ressort agissant sur la chaîne va en diminuant depuis le moment où

il commence à se détendre jusqu'à celui où il a repris sa forme primitive; mais, comme nous allons le voir, cette force, qui diminue d'une part, augmente d'une autre, de façon que, les deux effets se compensant, l'action du ressort demeure égale et constante.

Voici comment la force du ressort augmente par le jeu de la fusée, malgré la diminution de son intensité réelle.

A mesure que le ressort se détend et perd progressivement de sa force, il agit successivement sur de plus grands rayons du cône de la fusée, et sa force en est augmentée de manière à rétablir l'équilibre. S'il est vrai que le ressort, au moment où il commence à se détendre, a acquis une force telle qu'il pourrait entraîner le rouage avec une grande rapidité, il est vrai aussi qu'à ce moment il agit au sommet de la fusée par les plus petits rayons et que sa force s'en trouve sensiblement diminuée. La force compensatrice de cet appareil provient donc de ce que le ressort agit successivement sur la fusée, à l'extrémité d'un plus grand bras de levier à mesure qu'il est moins tendu.

Le mouvement régulier, obtenu par cet ingénieux artifice, est transmis aux aiguilles du cadran par l'intermédiaire de la roue que la fusée entraîne en tournant.

Montres. — Le moteur des montres est, comme nous l'avons dit, le même que celui des pendules d'appartement, c'est-à-dire un ressort d'acier en spirale, semblable à celui que représentait la figure 48 (page 80). On régularise, comme dans les pendules d'appartement, le jeu de ce ressort par l'emploi de la *fusée* et du *barillet* (fig. 49). Mais les montres ne pouvaient recevoir, en raison de leur mobilité, le même balancier qui, dans les horloges fixes et dans les pendules d'appartement, sert à régulariser le mouvement du moteur. Il fallait donc trouver un mécanisme autre que le pendule, qui rendit absolument isochrone l'impulsion du moteur, tout en s'accommodant à la mobilité de la montre. C'est Huygens qui a imaginé, comme nous l'avons dit, le régulateur des montres connu sous le nom de *balancier spiral*.

Cet appareil, que représente la figure 50, se compose d'une roue, ou petit volant, dit *balancier*, mobile autour d'un axe vertical, et d'un ressort spiral semblable au grand ressort moteur des montres, mais de dimensions beaucoup plus pe-

tites. Son extrémité intérieure est fixée à l'axe de la roue, et l'autre extrémité à une des platines de la montre. Lorsqu'on fait tourner le balancier, en tendant le ressort spiral au moyen de la clef, ce spiral se trouve déformé ; mais, par son élasticité, ce ressort tend à reprendre sa figure primitive, et il entraîne le balancier avec lui. Après avoir reçu cette impulsion, le balancier ne s'arrête pas à cette première position ; encore animé d'une certaine vitesse, il continue à tourner dans le même sens, alors que le spiral a déjà repris sa figure d'équilibre. Le spiral se déforme donc en sens contraire, il résiste de plus en plus au balancier et finit par l'arrêter. Continuant à agir sur lui, il ramène de nouveau le balancier à sa position primitive ; le balancier la dépasse de nouveau en vertu de sa vitesse acquise, et ainsi de suite.



Fig. 50. Balancier spiral.

Le balancier oscille donc de part et d'autre de sa position primitive, comme le pendule oscille de part et d'autre de la verticale. Il remplit dans la montre cet effet régulateur, ou d'*isochronisme*, que le pendule produit dans les horloges fixes : il régularise le mouvement du moteur et rend isochrone son action. Dans le pendule des horloges fixes, c'est la force constante et égale de la pesanteur qui produit l'*isochronisme* ; avec le ressort spiral des montres, c'est l'élasticité du ressort qui produit le même *isochronisme*.

Un échappement spécial met le régulateur, dans les pendules d'appartement, comme dans les montres, en communication avec un système de trois roues dentées qui ont des dimensions convenables pour que les aiguilles, qui en reçoivent leur mouvement, indiquent sur le cadran les heures, les minutes et les secondes.

Dans les horloges fixes et les pendules d'appartement, la sonnerie est produite par un ressort qui met en action un petit marteau venant frapper, au moment voulu, un timbre métallique très sonore.

Telles sont les principales dispositions mécaniques qui servent à obtenir d'une manière précise la mesure du temps dans les grandes horloges, les pendules et les montres.

Il existe des horloges à mouvements très compliqués et qui, outre les heures, marquent avec la même précision des

divisions du temps embrassant de plus longues périodes, telles que les mois, les années, avec l'indication des fêtes ou des jours consacrés par les cérémonies religieuses. D'autres horloges, plus compliquées encore, mesurent non seulement la durée de la marche de la terre dans l'espace, mais le mouvement des autres grandes planètes, les périodes de la révolu-

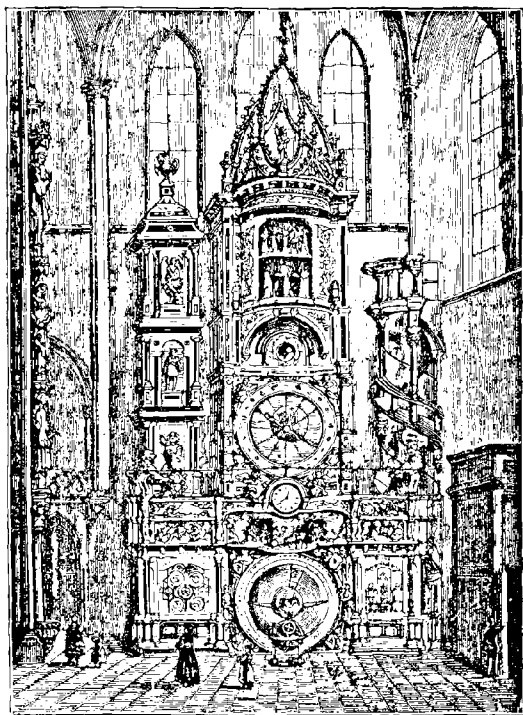


Fig. 51. Horloge de la cathédrale de Strasbourg.

tion de Mercure, de Jupiter, de Vénus, etc. Elles annoncent même les éclipses, les occultations d'étoiles et quelques autres phénomènes astronomiques. Il y a, en ce genre, de véritables monuments dignes d'admiration. Telle est, par exemple, l'horloge de la cathédrale de Strasbourg, œuvre d'une longue patience et d'une grande habileté mécanique.

L'horloge de Strasbourg, qui nécessita toute une vie de travail de la part de son premier constructeur, Isaac Habrech, (1574), fut reconstruite sur un plan tout nouveau, de 1838 à

1842, par Schwilgué, qui en fit un chef-d'œuvre de mécanique. Elle porte une foule d'indications diverses relatives à la mesure du temps. Elle renferme un comput ecclésiastique avec toutes les indications — un calendrier perpétuel, avec les fêtes mobiles — un planétaire présentant la durée des révolutions de chacune des planètes visibles à l'œil nu — les phases de la lune — les éclipses de lune et de soleil — le temps apparent et le temps sidéral — une sphère céleste, avec la précession des équinoxes, etc., etc. Divers personnages et statuettes mécaniques qui viennent frapper les heures et les demi-heures, aux intervalles voulus, ont toujours eu le privilège d'exciter la curiosité populaire. Mais ce qui fait le véritable prix de ce monument d'horlogerie, c'est la précision et la certitude de ses indications astronomiques.

L'un de nos artistes et mécaniciens les plus remarquables en horlogerie, fut A. Bréguet, né en Suisse, en 1747, de réfugiés français. Napoléon I^{er} lui commanda une montre qui devait marcher toujours, sans qu'il fût nécessaire de la remonter. Bréguet construisit ce chef-d'œuvre : la montre marche depuis 1804, et elle marchera, dit-on, jusqu'à ce que les rouages soient complètement usés. La seule précaution à prendre, c'est de la mettre en poche pour se promener pendant quelques minutes tous les trois jours. Un petit balancier caché reçoit l'impulsion de la marche, et remonte le ressort sans qu'on s'en doute.



Pour terminer ce qui concerne l'horlogerie, nous signalerons les derniers progrès de cet art ; nous voulons parler de l'application de l'électricité à la marche des horloges, en d'autres termes, de l'*horlogerie électrique*.

C'est une des plus étonnantes merveilles scientifiques de notre époque, que l'invention qui a permis de marquer par l'électricité les divisions du temps, de faire répéter au même instant les indications d'une horloge par un grand nombre de cadrans semblables, placés sur toutes les places d'une ville, dans toutes les salles d'un édifice, dans toutes les chambres d'une maison ou d'une fabrique.

Tel est le résultat qu'a réalisé la découverte de l'horlogerie électrique. Au moyen d'une seule horloge régula-

trice, on peut indiquer l'heure, la minute, la seconde, en divers lieux séparés par de grandes distances. Les différents cadrans, reliés entre eux par le fil conducteur d'une pile voltaïque qui part de l'horloge directrice, réfléchissent, comme autant de miroirs, le mouvement des aiguilles de cette horloge. Dans une ville, par exemple, l'horloge d'une église peut répéter son heure, sa minute, sur cent cadrans séparés et distincts entre eux. On peut, en un mot, par d'invisibles conduits, distribuer les indications de la mesure du temps, comme on distribue la lumière et l'eau par des canaux souterrains.

Quels sont les moyens qui permettent de faire marcher par l'action d'un courant électrique les aiguilles d'un ou de plusieurs cadrans éloignés, en leur faisant reproduire les mouvements d'une horloge unique ? C'est ce que nous allons essayer de faire comprendre.

Comme on vient de le voir, une horloge se réduit à deux éléments principaux : le ressort moteur, ou *spiral*, et le *pendule*, ou *balancier*, qui, par l'uniformité de ses mouvements, est destiné à régulariser l'action du ressort moteur. Le principe sur lequel repose la construction d'une horloge électrique, c'est de transmettre, à distance, les divisions du temps en transportant à un point éloigné chaque oscillation du balancier. Mais comment faire répéter, à distance, les battements d'une horloge ? Voici l'artifice qui permet d'atteindre ce résultat.

A chaque extrémité de la course circulaire du balancier de l'horloge, on place deux petites lames métalliques, que ce balancier vient toucher alternativement, à chacune de ses oscillations périodiques. Chacune de ces petites lames est attachée à l'un des bouts du fil conducteur d'une pile voltaïque, de telle sorte que, quand on fait communiquer entre elles par un corps conducteur ces deux petites lames métalliques, le courant électrique s'établit et parcourt toute l'étendue du fil conducteur, en comprenant l'horloge elle-même dans son circuit.

Cette communication s'établit nécessairement toutes les fois que le balancier de l'horloge, qui est formé de pièces de métal, c'est-à-dire d'excellents conducteurs de l'électricité, vient se mettre en contact avec les petites lames métalliques disposées à l'extrémité de sa course, et qui communiquent elles-

mêmes avec le fil conducteur de la pile. Établi de cette manière par le contact du balancier avec les petites lames métalliques, le courant est interrompu dès que le balancier quitte cette position, dans chacune de ses oscillations périodiques. On comprend donc qu'à chaque oscillation du balancier il y ait successivement établissement et rupture du courant voltaïque.

Maintenant, si le fil conducteur de la pile qui part de l'horloge régulatrice est mis en communication, à une distance quelconque, avec un simple cadran dépourvu de tout mécanisme d'horlogerie et simplement réduit aux deux aiguilles du cadran, et que ce fil s'enroule derrière ce cadran, autour d'un petit électro-aimant lequel, en se chargeant d'électricité, puisse attirer une petite lame de fer, c'est-à-dire une *armature* placée en face de lui, voici ce qui doit nécessairement arriver. Quand le balancier de l'horloge régulatrice, par ses oscillations successives, établit le courant électrique, et fait passer l'électricité à travers ces deux cadrans compris dans le même circuit, l'électro-aimant du cadran placé à distance, devenant actif, attirera la petite armature, qui se trouve en face de lui¹. Cette armature, étant ainsi mise en mouvement, pousse, au moyen d'un petit mécanisme nommé *rochet*, la roue des aiguilles de ce cadran, et, par le mouvement de cette roue, fait avancer d'un pas l'aiguille de ce cadran. Mais la seconde oscillation du balancier de l'horloge régulatrice ayant interrompu le passage de l'électricité dans ce système, l'électro-aimant du cadran éloigné ne recevant plus de fluide électrique retombera dans l'inactivité; son armature, repoussée par un faible ressort, reprendra sa place primitive, et maintiendra immobile l'aiguille de son cadran, jusqu'à ce qu'une nouvelle oscillation de l'horloge-type, rétablissant de nouveau le courant, vienne, par le mécanisme expliqué plus haut, imprimer un nouveau mouvement à la roue des aiguilles et la faire avancer d'un second pas sur le cadran.

Comme le balancier de l'horloge-type bat la seconde, c'est-à-dire exécute son oscillation dans l'intervalle d'une seconde, on voit que le cadran éloigné répète et réfléchit à chaque seconde les mouvements de l'aiguille du cadran de l'horloge régulatrice, et, comme lui, bat la seconde.

1. C'est ce qui sera expliqué avec tous les détails nécessaires, dans le chapitre sur la *Télégraphie électrique*, que l'on trouvera plus loin.

Nous avons supposé que l'horloge régulatrice est en communication avec un seul cadran ; mais il est évident que ce qui vient d'être dit pour un seul cadran reproduisant les indications d'une horloge-type, peut s'appliquer à un nombre quelconque de cadrans semblables compris dans le même circuit voltaïque, avec la seule précaution d'augmenter, dans une proportion convenable, l'énergie de la pile destinée à faire circuler l'électricité dans tout le système.

On voit, en résumé, qu'avec une seule horloge-type, on peut faire marcher les aiguilles d'un certain nombre de cadrans placés à distance, qui tous fournissent des indications conformes entre elles et identiques à celles de l'horloge-type.

Si l'on a bien compris les explications précédentes, on aura reconnu que l'horloge électrique n'est qu'une ingénieuse et belle application de la télégraphie électrique. Le même moyen physique qui sert à tracer des signes à distance avec le télégraphe électrique, permet aussi de télégraphier le temps, c'est-à-dire de marquer ses divisions. Quand on fait fonctionner le télégraphe électrique de Morse, c'est la main de l'opérateur, qui, à l'une des stations, établissant et interrompant le courant électrique, met en action, malgré la distance, l'électro-aimant de la station opposée. Dans l'horloge électrique, le balancier d'une horloge remplace la main de l'employé du télégraphe, et par ses oscillations successives, établit et interrompt le courant à intervalles égaux, de manière à transmettre les divisions du temps, c'est-à-dire à faire battre la seconde.

Cette remarquable application du principe de la télégraphie électrique fut réalisée pour la première fois, en 1839, par un physicien de Munich, Steinheil. En 1840, Wheatstone construisit à Londres une horloge électrique fondée sur le principe qui vient d'être exposé. Au moyen d'une horloge-type, il faisait répéter en différents lieux éloignés les uns des autres, l'heure et la minute de cette horloge.

Le premier essai pratique pour l'application de l'horlogerie électrique dans une grande ville a été fait à Leipzig, en 1850, par un mécanicien, M. Storer, de concert avec un horloger de la même ville, M. Scholle.

L'horlogerie électrique commence à se répandre dans quel-

ques villes de l'Europe, bien que l'on ne soit pas encore parvenu à vaincre d'une manière suffisante les difficultés que l'on rencontre quand on veut multiplier les cadrans et les placer à une assez grande distance les uns des autres.

L'horlogerie électrique fonctionne depuis plusieurs années dans la ville de Gand, en Belgique ; les cadrans électriques, au nombre de plus de cent, sont placés dans les lanternes à gaz. Ces horloges communiquent entre elles par un fil conducteur du courant électrique, qui les relie toutes à l'horlogetype. En 1856, un certain nombre d'horloges électriques ont été placées, avec les mêmes dispositions, dans la ville de Marseille.

A l'intérieur des gares de plusieurs de nos chemins de fer, particulièrement dans celles des chemins de fer de l'Ouest, du Nord et du Midi, des cadrans électriques distribuent l'heure dans plusieurs salles séparées.

Il faut nous hâter d'ajouter que l'horlogerie électrique a trouvé une redoutable rivale dans l'*horlogerie pneumatique*, c'est-à-dire dans les horloges dont les aiguilles sont poussées sur le cadran par l'air comprimé.

Au mois de mars 1880, on a établi dans les rues de Paris quinze *horloges pneumatiques*, qui fonctionnent aujourd'hui avec la plus grande régularité, à la grande satisfaction des habitants de la capitale. Ces nouvelles horloges étaient importées de Vienne (Autriche) où elles existaient depuis 1877.

Nous donnerons quelques détails sur cette curieuse invention mécanique, en commençant par rapporter les résultats obtenus à Vienne.

L'horlogerie pneumatique est venue résoudre le problème depuis longtemps cherché, de distribuer en différents points d'une ville les indications du temps, comme on distribue l'eau et la lumière, au moyen d'une canalisation souterraine.

Faire mouvoir un nombre déterminé d'horloges au moyen d'un appareil normal unique, tel a été, en effet, le problème, aussi hardi que difficile, que s'étaient posé depuis longtemps beaucoup de mécaniciens. L'électricité, comme il a été dit tout à l'heure, a d'abord permis de réaliser cette idée. Depuis une dizaine d'années, dans certaines villes, telles que Francfort, Leipzig, Berlin, Bruxelles, Genève, Lyon, Mul-

house, Marseille, ainsi que dans diverses villes d'Angleterre et d'Amérique, des horloges électriques fonctionnent; en d'autres termes, une horloge-type, grâce à des conducteurs électriques, répète son heure et sa minute sur un certain nombre de cadrans distribués en différentes parties de la ville.

Mais les horloges électriques sont sujettes à un grand nombre d'inconvénients, qui tiennent surtout aux perturbations qu'elles subissent de la part des influences atmosphériques. L'expérience de plusieurs années, a démontré qu'on ne pouvait compter sur une grande régularité avec ces appareils, et qu'il fallait songer à un autre moyen de résoudre le problème de la transmission de l'heure à un certain nombre de cadrans d'horloges distants les uns des autres.

Un mécanicien allemand, M. Mayerhofer, est parvenu à créer, au moyen d'une canalisation souterraine d'air comprimé, lequel agit comme moteur des aiguilles des cadrans, des *horloges pneumatiques*, qui ne sont sujettes à aucune perturbation de la part des agents atmosphériques.

Les premières horloges mues par l'air comprimé furent installées dans les rues de Vienne au mois de février 1877. Le pendule de l'horloge-type donnant l'impulsion aux aiguilles d'un certain nombre de cadrans, avait la longueur de 994,07 millimètres, correspondant au méridien géographique d'Autriche. Il faisait fonctionner un échappement, lequel communiquait, par l'intermédiaire d'un réseau de tuyaux pleins d'air comprimé, avec un certain nombre d'horloges secondaires, qui recevaient ainsi un mouvement simultané transmis par l'air comprimé. L'heure était donc distribuée par ce moyen à différentes horloges par une disposition analogue à celle d'une distribution d'eau ou de gaz.

Le bon résultat fourni par ce premier essai, fait avec un petit nombre de cadrans, fit désirer que le réseau souterrain embrassât un plus grand nombre d'horloges, et l'on parvint, par les moyens que nous allons décrire, à établir des horloges à air comprimé sur une série de cadrans disposés le long de la voie publique.

Les *horloges pneumatiques* établies dans les rues de Vienne reçoivent toutes l'impulsion de l'appareil normal situé dans la *station centrale*, qui est lui-même directement en com-

munication avec l'Observatoire, pour recevoir l'heure exacte correspondant au méridien géographique de Vienne.

Voici comment l'horloge-type de la station centrale transmet son propre mouvement aux cadrans répartis dans la ville par l'intermédiaire de l'air comprimé contenu dans une canalisation souterraine.

Le pendule de la *station centrale* comprime l'air des tuyaux de la canalisation. Devant chaque cadran placé à distance de l'horloge-type, l'air, quand il est comprimé, pousse un piston ajusté dans un cylindre rempli de mercure. Le piston ainsi animé d'un mouvement rectiligne alternatif, transmet, au moyen d'un petit levier, la même impulsion à la roue des heures et à celle des minutes du cadran. On peut intercaler sans grands frais un grand nombre d'horloges dans le réseau, le mécanisme ne se composant que de la roue des heures, de la roue des minutes, du levier et du cylindre avec son piston.

L'air comprimé qui sert d'agent moteur est comprimé par une machine à vapeur, dans un réservoir, d'où il s'échappe, au moment convenable, pour exercer son effet moteur.

Pour que l'air comprimé soit exempt de vapeur d'eau, on le fait passer au sortir du *réservoir remplisseur*, dans deux *cylindres dessiccateurs*, remplis de chaux, qui absorbent toute l'humidité que l'air peut renfermer, et qui ne laissent ainsi arriver dans le réseau que de l'air absolument sec.

Les dérangements qui peuvent survenir dans le jeu des appareils sont signalés par des appareils électriques spéciaux. Il est impossible que l'un quelconque des organes en fonction prenne une autre position que la position normale, sans que la perturbation qui en résulte soit aussitôt signalée automatiquement au poste central par le fil électrique. Et pour que l'employé chargé de la surveillance de l'appareil central soit informé immédiatement du lieu de l'accident, on a disposé à la *station centrale* un tableau, analogue à celui des télégraphes d'hôtel, qui fait connaître le point d'où l'avertissement est parti.

Les conduites qui composent le réseau souterrain d'air comprimé, sont des tuyaux de plomb, entourés de briques, pour les préserver.

Des horloges pneumatiques, construites d'après le système

que nous venons de décrire, furent installées en 1878, dans les rues et devant les principaux édifices de Vienne, à savoir : sur les candélabres du *Schottenring*, du Hof, du Herrengasse, de la rue Wipphing, du palais impérial, du palais du prince de Lichtenstein, de la rue de la Banque, à la Bourse et au Télégraphe.

La Société autrichienne qui avait réalisé cette intéressante création, fit fonctionner à l'Exposition universelle de Paris, en 1878, des *horloges pneumatiques*, qui donnaient l'heure dans la galerie d'horlogerie.

C'est ce même système, modifié dans quelques-unes de ses parties accessoires, par M. Poff, qui a été adopté par le Conseil municipal de la ville de Paris, pour entrer en concurrence avec quelques cadrans d'horlogerie électrique installés, dans les rues de Paris, à la même époque, c'est-à-dire au commencement de 1880.

Le 15 mars 1880, les horloges pneumatiques de M. Poff furent inaugurées avec quelque solennité. A l'occasion de cette inauguration, M. Poff donna l'explication du mécanisme de ces horloges aux personnes venues pour assister à cette cérémonie.

« Les cadrans des quinze horloges réparties dans divers quartiers de Paris, dit M. Poff, sont reliés par des tuyaux à des récipients d'air comprimé. Chaque fois que le balancier de l'horloge centrale frappe la soixantième seconde d'une minute, un mouvement de déclenchement ouvre l'orifice des récipients; l'air comprimé s'élance dans les tuyaux et gonfle un soufflet qui se trouve à leur extrémité, dans l'intérieur des horloges de la ville; en se gonflant, ce soufflet soulève un cliquet qui fait avancer d'un cran une roue où il y en a soixante.

« Un cran correspond à une minute, de sorte que, en même temps que la roue avance d'un cran, la grande aiguille, qui est fixée sur elle, avance d'une minute. Par ce mécanisme bien simple, chaque minute marquée par l'horloge centrale se répercute sur toutes les horloges disséminées dans Paris, exactement comme les pulsations du cœur se répercutent dans toutes les parties du corps.

« Il y a donc concordance parfaite entre les heures que nous donnons sur les différents points de la ville, et, comme notre horloge centrale est en communication avec l'Observatoire, nous pouvons assurer que nous donnons l'heure astronomique exacte.

« L'établissement de nos quinze horloges a exigé 18 kilomètres de tuyaux. Toutes les maisons situées sur le réseau de cette canalisation peuvent, dès maintenant, recevoir l'heure chez elles. Il suffit d'un petit tuyau embranché sur le tuyau central comme un tuyau à gaz pour con-

duire l'air comprimé et nous mettre en état de fournir l'heure comme d'autres compagnies fournissent le gaz et l'eau. »

Les *horloges pneumatiques* établies dans Paris fonctionnent parfaitement, et, comme il est dit plus haut, les physiciens qui dirigent cette intéressante entreprise, s'occupent de remplir la seconde partie de leur programme, c'est-à-dire de donner dans les maisons l'heure sur des cadrans semblables à ceux des horloges publiques de leur système.

On promet de louer ces cadrans aux particuliers pour *un sou par jour* ! On peut juger par là de l'importance scientifique et de l'utilité pratique de l'invention des physiciens de Vienne, MM. Mayerhofer et Poff.



VII

LE VERRE

Historique. — Le verre connu des Phéniciens, des Égyptiens, des Grecs, des Romains. — Composition générale du verre. — Étude du verre à vitre, du verre à bouteille et du cristal. — Le verre trempé.

La connaissance du verre par les hommes remonte aux temps les plus reculés.

On lit dans tous les ouvrages que le verre fut découvert par hasard par les Phéniciens. Des marchands de *natron* (carbonate de soude) auraient, pour la première fois, obtenu du verre en cuisant leurs aliments sur le sable siliceux d'une plage, auprès de blocs de *natron*, ce qui aurait amené, par la combinaison de la silice du sable avec la soude, la formation du verre, qui est composé de silicate de soude.

Cette histoire est de tous points apocryphe. La vérité est que le verre a été obtenu bien avant l'existence du peuple phénicien, car il est permis de faire remonter son premier emploi jusqu'à l'époque de l'homme primitif, c'est-à-dire jusqu'à l'âge du fer.

Il est parlé du verre dans l'Écriture sainte en deux versets : dans le livre de *Job* et dans celui des *Proverbes*.

On ne sera donc pas surpris si nous disons que dès l'antiquité la plus reculée les Égyptiens connaissaient l'art de fabriquer le verre, de le tailler et de le colorer. C'est ce que démontrent les ornements de verre dont sont parées plusieurs momies trouvées dans les catacombes de Thèbes et de Memphis.

370 ans avant Jésus-Christ, des verreries existaient à l'em-

bouchure du fleuve Bèlos, en Phénicie. On y fabriquait des objets en verre qui étaient expédiés par les vaisseaux de Tyr, aux Grecs et aux Égyptiens.

Les Romains ont connu le verre plus de deux siècles avant Jésus-Christ. Nous devons à Pline des détails curieux sur le mode de fabrication de ce produit dans les verreries antiques.

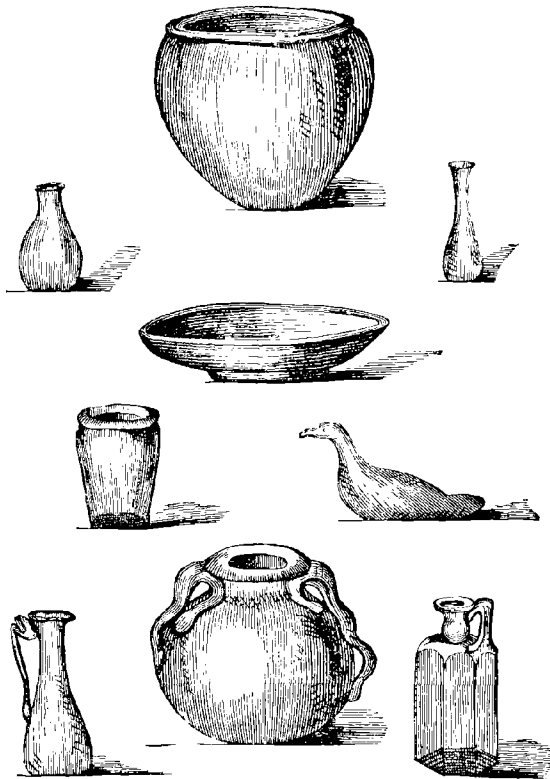


Fig. 52. Échantillons de verreries romaines.

De son temps, des verreries commencèrent à s'établir en Gaule et en Espagne. 230 ans après Jésus-Christ, sous Alexandre Sévère, les verriers étaient si nombreux à Rome qu'on les avait relégués dans un quartier séparé.

La connaissance du verre par les anciens, explique pourquoi l'on trouve si souvent en Égypte, en Italie, en Allemagne, en France et en plusieurs autres pays, beaucoup de

vases et de fioles de verre dans les tombeaux antiques.

Les premières verreries de l'Europe, dans les temps modernes, furent établies à Byzance (Constantinople). Au dixième siècle, les ouvriers byzantins expédiaient dans toute l'Europe

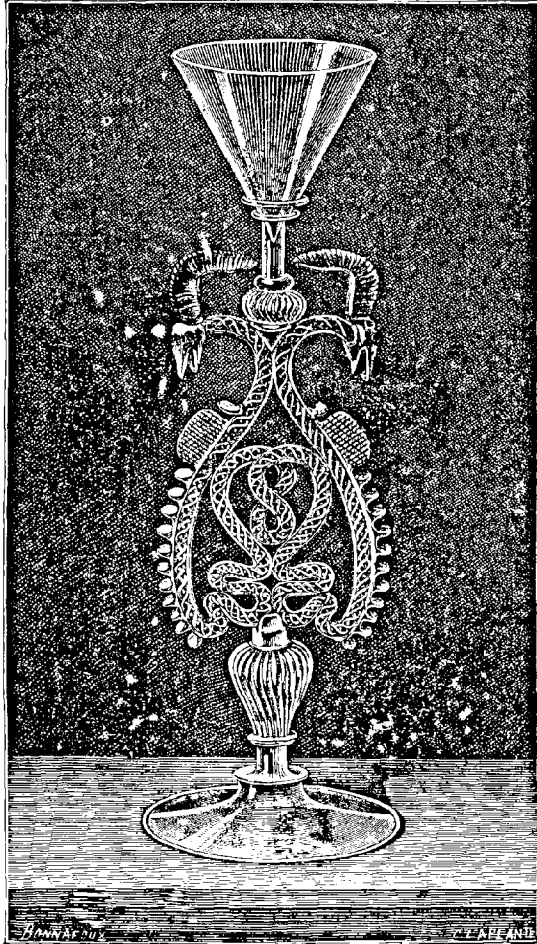


Fig. 53. Verre de Venise.

les produits de leur industrie, consistant en verreries de toutes sortes.

Après la prise de Constantinople, en 1203, les verriers byzantins allèrent s'établir à Venise.

Au treizième siècle, les Vénitiens avaient découvert le secret d'étamer les glaces, et ils répandaient dans toute l'Europe les glaces étamées. Les anciens, en effet, n'ont point connu l'étamage des glaces ; chez eux, les miroirs se composaient d'une simple lame d'argent poli, ou d'un métal peu oxydable et à surface très réfléchissante.

Les Vénitiens acquirent une immense renommée pour l'art merveilleux avec lequel ils décoraient et façonnaient le verre et en formaient toutes sortes de vases élégants et précieux. La figure 53 donne un échantillon de la verrerie vénitienne à l'époque de la Renaissance.

De Venise, l'art de la verrerie passa en Allemagne, vers le seizième siècle. Les verres colorés que la Bohême fabriqua, à partir de cette époque, constituaient une spécialité nouvelle dans cette industrie.

L'art de graver, de tailler le verre, et de le transformer ainsi en un objet d'ornement, a été, dit-on, découvert en 1612 par un artiste allemand, Gaspard Lehmann. Cependant l'art de polir et de décorer le verre n'avait pas été ignoré des anciens, car Pline parle de certains tours servant à graver le verre, qui étaient employés de son temps.

Le cristal, qui est l'espèce de verre la plus précieuse, est d'invention moderne. Il fut fabriqué pour la première fois, en Angleterre, au dix-septième siècle.



Quand on fond, dans un creuset chauffé au rouge, un mélange, fait en proportions convenables, de silice (sable pur) et d'un oxyde métallique alcalin ou terreux (potasse, soude, chaux, alumine), la silice, se combinant à l'oxyde métallique, donne naissance à un mélange de silicates divers, c'est-à-dire à des silicates de potasse, de soude, de chaux, etc. Les silicates de soude, de potasse, de chaux, d'alumine, purs ou mélangés, c'est-à-dire le résultat de la combinaison de la silice avec la soude, la potasse, la chaux ou l'alumine, constituent donc, d'une manière générale, le produit que l'on désigne sous le nom de *verre*.

En modifiant la nature et les proportions des éléments qui constituent le verre, on arrive à obtenir les variétés de verre employées dans l'industrie, à savoir :

Le *verre à vitre*, composé de silice, de soude et de chaux ;

Le *verre à bouteille*, formé de silice, de soude (ou potasse) de chaux, d'alumine et d'oxyde de fer ;

Le *verre de Bohême*, formé de silice, de potasse et de chaux ;

Le *crystal*, formé de silice, de potasse et d'oxyde de plomb ;

On appelle *flint-glass*, une variété de cristal plus riche en plomb que le cristal ordinaire précédent, et *strass*, un cristal plus riche encore en plomb que le flint-glass.

Nous parlerons seulement ici du *verre à vitre*, du *verre à bouteille* et du *crystal*. Nous dirons aussi quelques mots d'un produit dont la découverte remonte à peu d'années : nous voulons parler du *verre trempé*, c'est-à-dire durci par la trempe.

Verre à vitre. — Les verres incolores ordinaires que l'on emploie pour fabriquer la gobeletterie, les vitres et les glaces, sont formés de silice combinée à la chaux, à la potasse ou à la soude. Le verre blanc de première qualité est fabriqué à Paris, avec du sable d'Étampes, de Fontainebleau ou de la butte d'Aumont, de la craie blanche de Bougival, et du carbonate de soude.

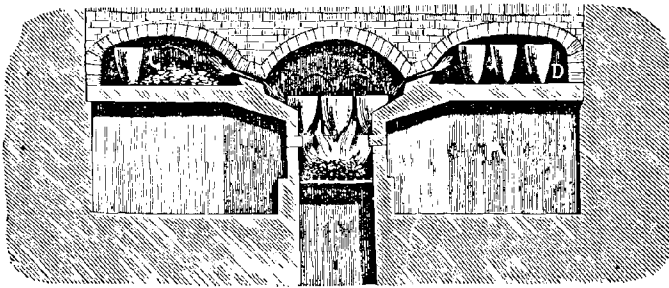


Fig. 54. Coupe verticale d'un four à verrerie.

Le four à verrerie se compose d'un foyer central entouré de deux compartiments latéraux, dans lesquels on place les objets fabriqués, pour les faire refroidir doucement.

La figure 54 présente la coupe verticale d'un four à verrerie. Au milieu est le foyer ; sur les deux côtés de ce foyer on voit (A et B) deux grands compartiments vides. Ils servent à placer les objets en verre, une fois fabriqués, pour les faire refroidir lentement.

Souvent, avant de placer le creuset dans le foyer, on le place dans des *carneaux* (C, D) pour faire subir aux matières qu'il renferme un premier effet de chaleur.

Les matières qui doivent composer le verre, c'est-à-dire le sable et les carbonates de potasse et de chaux, étant placées dans les creusets, on installe ces creusets au milieu du four, comme le représente la figure 54. Quand elles sont suffisamment chauffées, elles fondent et donnent le verre. Ce produit, maintenu liquide par la chaleur du



Fig. 55.

La canne du verrier.



Fig. 56.

foyer, est alors façonné en différentes formes, par les procédés que nous allons décrire.

La *canne*, outil principal de l'ouvrier verrier, est un tube de fer creux, muni d'un manche de bois.

Voici comment l'ouvrier façonne les objets de verre au moyen de cet outil.

L'ouvrier plonge sa canne dans le creuset contenant le verre liquide. Il en retire une certaine masse de verre à laquelle il donne d'abord la forme d'une poire très épaisse (fig. 55). En continuant à souffler dans sa canne, il augmente la dimension de la masse du verre et lui donne la forme indiquée par la figure 56.

Cette forme est celle d'une bouteille, d'une carafe. Nous la

représentons dans le seul but de faire comprendre comment l'ouvrier verrier se sert de la *canne*, outil primitif, dont l'emploi remonte à l'antiquité la plus reculée, car on a trouvé en Égypte des dessins relatifs à l'art de la verrerie et sur lesquels cet outil était représenté. Or, ces dessins remontent à 2 000 ans avant Jésus-Christ.

La *canne* sert à façonner le verre de toutes sortes de manières, et à fabriquer presque tous les objets de cette matière.

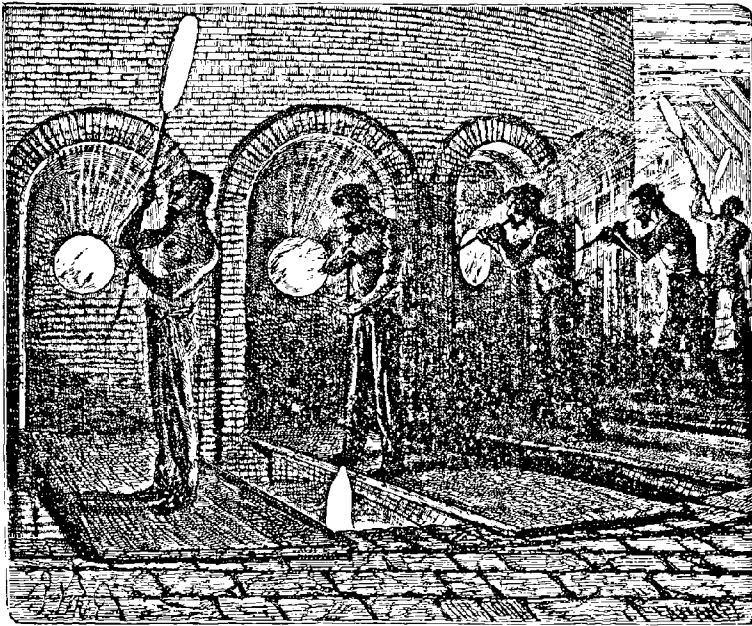


Fig. 57. Four de verrerie pour le verre à vitre.
Fabrication d'un carreau de vitre. (Soufflage du verre en boule.)

Pour citer un exemple intéressant de fabrication des objets de verre, nous décrirons la manière dont on fabrique les vitres avec le verre dit *à vitre*, que nous étudions dans ce chapitre.

Le *verre à vitre* se fabrique, en France et en Belgique, par le procédé dit *des manchons*, et en Angleterre, par le procédé dit *des plateaux*. Nous nous occuperons seulement de la fabrication des carreaux de vitre par le procédé des manchons, ou *procédé français*.

L'ouvrier plonge sa canne dans le creuset, et par deux ou

trois cueillages successifs, il la charge d'environ 600 à 700 grammes de verre fondu. Alors il pose sa canne chargée de verre sur un *bloc*, c'est-à-dire sur une plaque de marbre, la tourne de la main gauche, et arrondit, de la main droite, la masse de verre incandescente, au moyen d'une batte en fer. Il reporte sa canne au creuset, pour y puiser encore du verre. Quatre cueillages successifs sont nécessaires pour faire un manchon de 1 mètre environ sur 70 centimètres, et la masse que le souffleur tient alors au bout de son outil ne pèse pas moins de 5 kilogrammes.

La quantité voulue de matière étant cueillie, le verrier pose sa canne sur les bords d'un seau plein d'eau; il la rafraîchit avec de l'eau, car elle est brûlante, de manière à pouvoir la saisir près du verre, et il recule, en la tournant, de manière à rassembler la masse vitreuse le plus possible; puis il pose cette masse dans un moule en bois en forme de poire, en faisant toujours tourner la canne entre ses mains. Il arrête le grossissement de la boule de verre quand il le juge convenable (fig. 57).

Il fait ensuite exécuter à sa canne un ou deux moulinets, reporte la pièce devant le feu en appuyant son outil sur un crochet fixé à la paroi du four, et en le faisant toujours tourner.

Quand le verre, qui s'était refroidi, est suffisamment ramolli par la chaleur, il retire la pièce du feu, et, tout en soufflant dans sa canne, il lui imprime un mouvement de balancement semblable à celui d'un battant de cloche (fig. 58). Le souffleur tend à gonfler la boule pendant que le balancement tend à l'allonger: la résultante de ces deux actions allonge le manchon, tout en lui donnant une forme cylindrique.

On obtient de cette manière un cylindre terminé par deux calottes. Il s'agit maintenant de faire disparaître les deux calottes terminales. On y arrive, pour la calotte qui est à l'extrémité, en réchauffant le man-



Fig. 58. Fabrication d'un carreau de verre. (Production du manchon.)

chon, et en soufflant ensuite avec beaucoup de force dans la canne. Le verre, cédant à la pression de l'air, s'ouvre à sa partie la plus mince et la plus ramollie. Une fois l'ouverture faite, on la ramène au diamètre général du manchon, en tournant le manchon, l'ouverture en bas et rabattant avec une batte de fer les bords de l'ouverture.

Pour supprimer la deuxième calotte du manchon, le verrier prend une petite quantité de verre, qu'il roule sur un marbre; il en fait un cordon en laissant le verre s'étirer de son propre poids, et il entoure de ce cordon brûlant la surface du manchon, à l'endroit où il doit être coupé. Puis il enlève rapidement ce cordon et mouille avec l'eau la partie du manchon où le cordon était enroulé. Ce brusque passage du froid au chaud fracture le manchon à l'endroit précis où était appliqué le cordon de verre brûlant, et la calotte se sépare.

On a ainsi obtenu un véritable cylindre de verre. Il s'agit alors d'en faire une lame de vitre. Pour cela, on commence par fendre le manchon dans toute sa longueur.

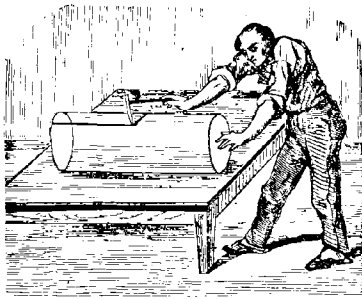


Fig. 59. Fabrication d'un carreau de vitre.
(Fente du manchon.)

Pour fendre le manchon, on promène à l'extérieur, le long d'une même arête, une tige de fer appelée *fer à fendre* et dont l'extrémité est chauffée au rouge (fig. 59). Le verre se fend suivant cette ligne.

La confection d'un cylindre ouvert à son extrémité et adhérent encore à la canne n'exige pas plus de huit ou dix minutes. Les creusets de Rive-de-Gier contiennent environ 600 kilogrammes de verre, et les ouvriers, travaillant environ vingt heures, avec deux ou trois poses, fabriquent pendant ce temps 250 manchons de 66 centimètres sur 54.

Nous représentons sur la figure 60 les différentes formes que l'ouvrier donne au verre à vitre pour obtenir les carreaux de vitre.

Il s'agit, maintenant, de transformer ce manchon fendu en un carreau plat.

Les manchons sont portés dans des fours dits *à étendre*, et

chauffés très doucement sur une plaque de verre appelée *lagre*, destinée à les protéger des impuretés de la sole du four. Les manchons sont chauffés graduellement en les poussant peu à peu dans l'intérieur du four.

Quand le manchon est arrivé au milieu du four, la chaleur ramollissant le verre, les deux parties du manchon s'affaissent et s'étalent sur la sole du four, en formant une plaque horizontale. Un ouvrier s'arme d'une tringle de fer, et s'en sert pour affaisser et égaliser la plaque de verre, de manière à obtenir une surface bien plane.

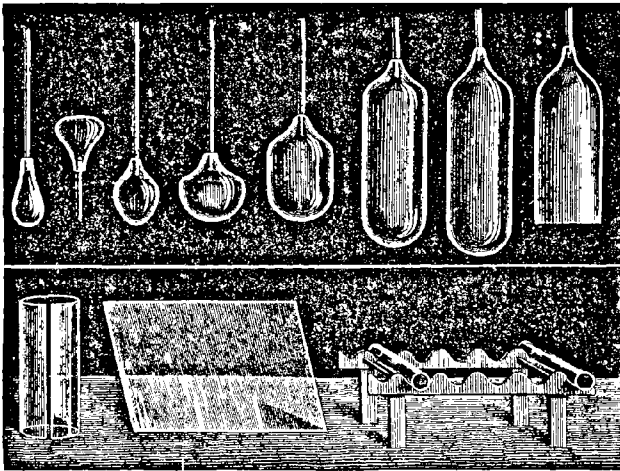


Fig. 60. Formes successives données au verre pour la fabrication des carreaux de verre.

Il reste à faire refroidir graduellement les carreaux de verre et à les amener froids à l'extérieur. Pour cela, les lames de verre sont poussées, au moyen d'un crochet de fer, sur un chariot. Un treuil tirant une corde attachée à ce chariot, leur fait parcourir très lentement une longue galerie, dite *galerie à recuire*. Quand elles sont arrivées à l'extrémité de cette galerie, les plaques de verre sont entièrement refroidies. Elles constituent alors les *carreaux de verre*.

C'est avec le verre dit *à verre* que l'on fabrique les objets divers en verre commun incolore et transparent, qui composent ce que l'on nomme dans le commerce, la *gobeletterie*, c'est-à-

dire les verres à boire, carafes, flacons, verres de lampe, bobèches, tubes, etc., etc.

La figure 61 représente l'intérieur d'une verrerie affectée spécialement à la gobeletterie.

C'est également avec le *verre à vitre* que se fabriquent les glaces et les miroirs.

Les glaces se fabriquent avec un verre à vitre très pur, que l'on coule sur une table de fonte bien plane. Quand la masse de verre est coulée sur la table de fonte, un énorme rouleau vient passer sur la masse fondue, et lui donner une surface parfaitement égale. Les glaces ainsi *coulées* sont poussées dans un four modérément chaud, où on les laisse refroidir très lentement.

Quand les glaces sont bien refroidies, on s'occupe de les polir, car, telles qu'elles sortent du four à recuire, elles ne ressemblent guère à celles qui décorent nos appartements : elles paraissent entièrement opaques. Pour les rendre transparentes, il faut les *doucifier* et les *polir*.

Pour *doucifier* la glace, on la scelle horizontalement sur une table en pierre, et on la frotte avec du gros sable ou du grès pulvérisé, au moyen d'une molette garnie de bandes de fonte, qu'on nomme *fenasse*. La *fenasse* se meut horizontalement à la surface de la glace avec un mouvement de va-et-vient demi-circulaire qui embrasse toutes les parties de la surface à frotter. La glace s'use, se dégrossit par ce long frottement.

Lorsque tout le brut de sa surface a disparu par cette première opération, on procède au *doucissage*.

Cette seconde opération ressemble à la précédente ; seulement on remplace la *fenasse* par une glace dégrossie, et, au lieu de sable ou de grès, on interpose entre les deux glaces de l'émeri de plus en plus fin. De cette manière, les deux glaces se doucissent en même temps. On répète l'opération sur les deux faces.

S'il reste une imperfection, on la fait disparaître par un travail manuel, au moyen d'une petite glace, avec interposition d'eau et d'émeri fin. Cette dernière opération s'appelle le *savonnage*.

Après le *savonnage*, les glaces sont encore opaques. Cette opacité disparaît par le *polissage*.

Cette opération se fait au moyen de frottoirs en feutre, saupoudrés de colcothar (peroxyde de fer), montés sur des leviers qui leur impriment un mouvement de va-et-vient sur la surface de la glace. La glace est posée sur une table, qui est animée d'un mouvement lent, en sens inverse de celui des frottoirs.

La glace sort de cette opération transparente et polie.

Pour transformer cette glace en miroir, il faut appliquer sur une de ses faces une mince lame d'un métal très réfléchissant. Le métal qui remplit cet office, c'est le mercure.

L'*étamage* consiste donc à fixer sur une des faces de la glace une légère couche de mercure. Seulement, comme le

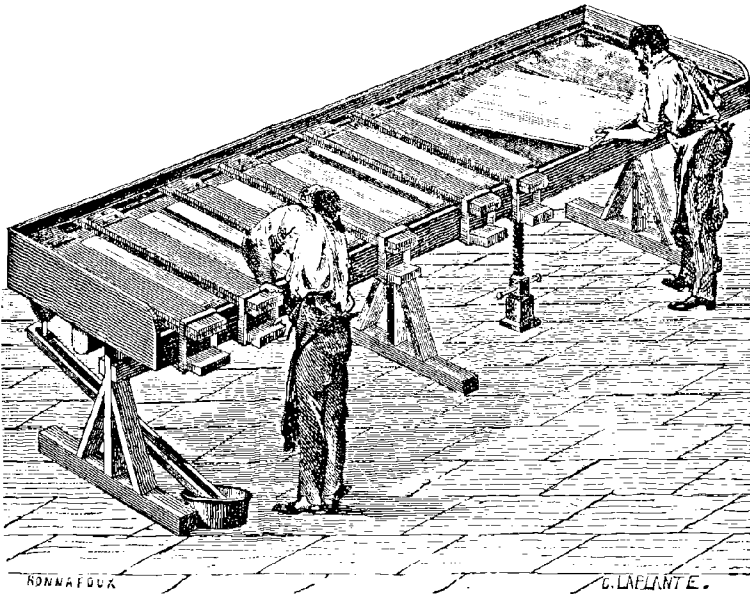


Fig. 62. Étamage des glaces.

mercure est liquide et ne pourrait être maintenu sur la glace, on le rend fixe et solide en l'unissant à un autre métal, l'étain. De là résulte un *amalgame*, un amalgame d'étain, qu'on désigne vulgairement sous le nom de *tain*.

Voici comment on dépose le *tain* à la surface d'une glace.

La *table à étamer* est formée d'une pierre calcaire (pierre de liais) bien aplanie, qui est entourée, sur trois côtés, d'une rigole destinée à faire écouler l'excès de mercure. Elle est

disposée de façon à pouvoir être soulevée dans tous les sens, au moyen de vis verticales qui la supportent.

Alors on étale sur la glace, sans faire de plis, une feuille d'étain de la grandeur de la glace à étamer, et sur cette feuille on verse du mercure. On hâte et on favorise l'*amalgamation* ou la combinaison du mercure avec l'étain, en agitant le mercure avec des rouleaux de lanières de drap emmanchés au bout d'un bâton. Ensuite on recouvre la glace recouverte de la feuille d'étain et du mercure, avec une autre feuille d'étain et on la charge de poids.

Ce procédé présente cependant certains inconvénients, il occasionne quelquefois la rupture des glaces par l'inégale répartition des poids. Un miroitier d'Amiens, M. Rabuk, a imaginé un appareil qui supprime les poids dont on chargeait autrefois les glaces, pour hâter l'*amalgamation*.

M. Rabuk substitue aux poids des barres en bois garnies de fenêtres, qui sont serrées avec des étriers en bois, comme le représente la figure 62.

Les étriers de bois employés par M. Rabuk pour presser la lame d'étain contre le verre et hâter l'*amalgamation*, sont employés aujourd'hui par un grand nombre de miroitiers.

L'emploi du mercure allié à l'étain, pour donner aux glaces les qualités de miroirs, c'est-à-dire pour les rendre réfléchissantes, est aujourd'hui à peu près abandonné, en raison des dangers que présente pour les ouvriers le maniement du mercure. On rend les glaces réfléchissantes en recouvrant une de leurs faces d'argent ou de platine par des procédés chimiques dans le détail desquels nous ne saurions entrer ici.

La surface réfléchissante obtenue avec le platine ou l'argent ne le cède en rien, d'ailleurs, à celle que donne le procédé de l'*amalgamation*.

Ajoutons pourtant qu'en 1879, un inventeur fécond, M. Lenoir, a combiné les deux procédés, et qu'il a trouvé le moyen d'étamer les glaces, par un procédé très ingénieux, en employant tout à la fois le mercure et l'argent, sans que les ouvriers aient à souffrir de l'effet du mercure. Ce nouveau système de fabrication des miroirs réunit à l'économie la condition de la salubrité pour l'ouvrier. Il est donc à désirer que le platinage et l'argenture, ou le nouveau procédé de M. Lenoir, qui combine l'*amalgamation* et l'argenture, remplacent

l'insalubre et antique procédé de l'amalgamation directe du mercure à l'étain.

Verre à bouteilles. — Pour la préparation du verre à bou-



Fig. 63. Fabrication des bouteilles.

teilles, on emploie des sables ocreux, parce que l'oxyde de fer qu'ils renferment donne de la fusibilité au verre. On y ajoute de la soude brute et des cendres de bois.

Les fours pour le verre à bouteille renferment ordinaire-

ment huit grands creusets, qu'on remplit du mélange destiné à former le verre et qu'on chauffe pendant sept à huit heures.

Pour faire une bouteille, un aide (que l'on nomme dans les verreries, le *gamin*) plonge plusieurs fois sa canne dans le verre fondu, jusqu'à ce qu'il en ait retiré la quantité nécessaire au façonnage d'une bouteille, et à chaque fois il tourne constamment la canne entre ses mains. Le *souffleur* prend alors la canne des mains du *gamin*, appuie le verre sur une plaque de fonte, en tournant la canne, pour former le goulot de la bouteille, puis il souffle et donne au verre la forme d'un œuf. Il marque ensuite le col de la bouteille, réchauffe la pièce et la souffle de nouveau, après l'avoir introduite dans un moule de bronze, qui lui donne la forme et les dimensions convenables. Pour faire le fond de la bouteille, il appuie un des angles d'une petite plaque de tôle rectangulaire nommée *molette*, au centre de la base de la bouteille, tout en tournant celle-ci avec la canne.

Il ne reste plus qu'à détacher la bouteille de la canne et à ajouter une cordelette de verre au sommet du goulot. On place ensuite les bouteilles dans le *four à recuire*, et on les laisse refroidir lentement.

Quand les bouteilles doivent avoir une capacité exacte, on emploie, pour les fabriquer, un moule métallique. Nous re-

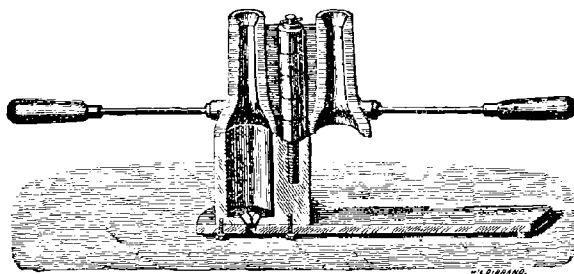


Fig. 64. Moule pour les bouteilles bordelaises.

présentons ici le moule métallique qui sert à fabriquer les bouteilles bordelaises de la capacité de 70 centilitres.

Les tubes de verre se font par des moyens tout à fait semblables aux précédents, et qui consistent à mettre à profit l'extrême ductilité dont le verre jouit quand il est ramolli par la chaleur.

Pour obtenir ces longs tuyaux de verre qui servent, dans les laboratoires de chimie, à conduire les gaz et à construire divers appareils, un ouvrier prend une masse de verre, qu'il souffle en boule, à peu près comme on l'a vu sur la figure 63. Ensuite, un autre ouvrier, saisissant, au moyen d'une tige de fer, l'autre extrémité de la masse de verre soufflée et encore ramollie par la chaleur, s'éloigne en marchant à reculons (fig. 65). Il allonge ainsi la masse de verre, qui, toujours pourvue d'une cavité à son intérieur, finit par donner naissance à un long tube creux. En divisant par mor-

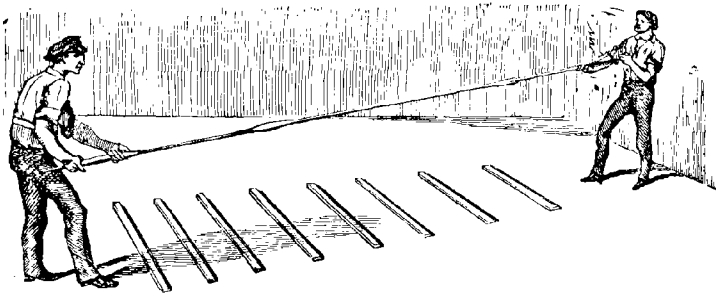


Fig. 65. Fabrication d'un tube de verre.

ceaux le long canal de verre ainsi formé, on obtient les tubes de nos laboratoires.

Cristal. — Le cristal diffère du verre proprement dit en ce qu'il contient une certaine quantité d'oxyde de plomb, à l'état de silicate d'oxyde de plomb, que ne renferme pas le verre ordinaire. Ce silicate de plomb donne à la masse vitreuse une grande pesanteur spécifique et une limpidité parfaite. Les rayons lumineux qui le traversent y éprouvent une réfraction (c'est-à-dire une déviation) beaucoup plus considérable que dans le verre commun. Enfin, tandis que le verre est aigre et dur, le cristal se taille, au contraire, avec la plus grande facilité, au moyen d'une roue d'acier, et peut recevoir ainsi toutes les formes propres à la décoration. C'est cet ensemble de propriétés remarquables qui rendent le cristal si précieux pour un grand nombre d'usages, et qui font sa supériorité sur le verre proprement dit.

Le *minium*, ou oxyde rouge de plomb, est le composé

plombique qui sert à la préparation des différentes variétés de cristal.

Le cristal le plus commun s'obtient en fondant ensemble, dans un creuset, du sable pur, du minium et du carbonate de potasse purifié.

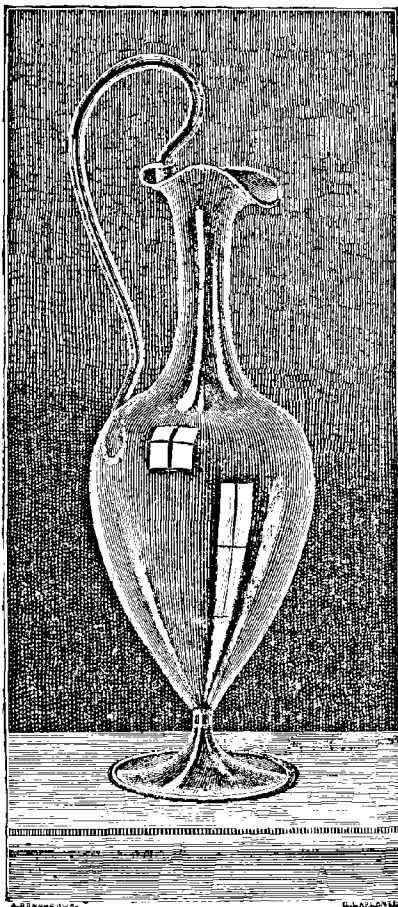


Fig. 66. Burette de cristal.

Une variété de cristal qui est très dense, très réfringent, et qui, sous l'influence de la taille, imite singulièrement le diamant, porte le nom de *strass*. Si on le colore avec des oxydes métalliques, on obtient les pierres précieuses artificielles.

Les verres employés pour former les lentilles qui entrent dans les instruments d'optique, sont le *crown-glass*, qui présente une composition analogue à celle du verre à vitres, et le *flint-glass*, qui est un véritable cristal.

Les pièces de verre et de cristal ne sont pas terminées quand elles sortent de l'atelier du verrier. Elles doivent, pour être achevées, passer par l'atelier de la taille.

Taille du verre et du cristal. — Les pièces de

verre ont peu de travail à recevoir des mains de l'ouvrier tailleur. Souvent tout se borne à faire disparaître les arêtes tranchantes qu'elles conservent, en les passant sur une meule de grès. Mais pour le cristal, il y a tout un travail qui succède à la confection des pièces soufflées ou moulées. Nous voulons parler de la *taille* de la pièce, qui est souvent plus impor-

tante que la fabrication première de l'objet. Les carafes, les verres, les différents vases, se font d'abord par le soufflage ou le moulage, et la taille doit les terminer, en y produisant les facettes à plat, les creux, les saillies, les moulures, etc. Pour les cristaux et pendeloques de lustre destinés à ré-

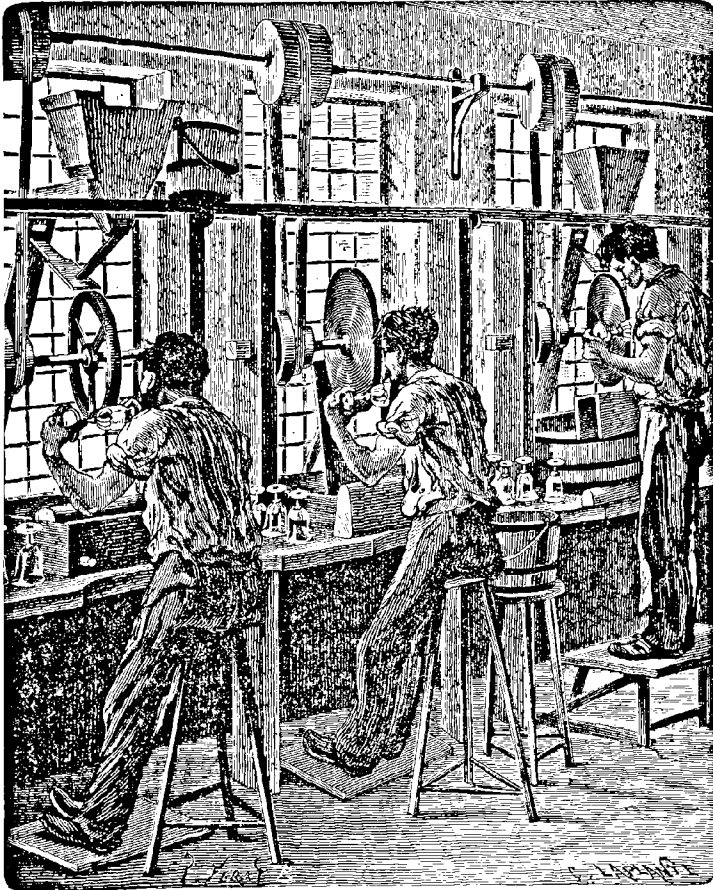


Fig. 67. La taille du cristal.

fracter fortement la lumière, la taille est l'opération la plus importante.

Comment se fait la taille du cristal? A l'aide de burins circulaires, c'est-à-dire de roues, dont la matière et la dureté varient selon le travail à accomplir.

Des roues d'acier, de grès et de bois, qui sont mises en mouvement par un arbre de couche placé à la partie supérieure de l'atelier, voilà de quoi se compose l'outillage d'une taille-rie de cristal (fig. 67).

Suivons les différentes opérations que comporte le travail de la taille d'une pièce de cristal, celle d'une carafe par exemple.

La première opération est l'*ébauchage*. L'ouvrier, tenant à la main la carafe qui arrive du four à cuire, présente les parties de l'objet qui doivent être remplacées par des creux ou des surfaces planes, à une roue d'acier, sur laquelle tombe goutte à goutte, d'un réservoir placé au-dessus, une bouillie d'eau et de poussière de grès. Assis sur un tabouret devant la roue, l'ouvrier tient à la main la pièce à tailler; il la présente à la roue en mouvement, et suit avec attention les progrès du travail.

Quand l'*ébauchage* est fait et que les facettes à obtenir sur la pièce sont ainsi déterminées, la pièce est devenue opaque dans les parties entamées. Il faut rendre à ces portions opaques leur poli et leur transparence. A cet effet, un autre ouvrier prend la même pièce, et présente les facettes opaques à une meule de grès, qui fait disparaître les rayures, polit la surface du cristal et la rend transparente.

Un troisième ouvrier prend la même pièce et donne un nouveau degré de poli aux facettes, en les présentant à une meule de bois, sur laquelle il projette de l'émeri fin ou de la pierre ponce pulvérisée.

On termine en donnant aux facettes le dernier brillant au moyen d'une roue de liège saupoudrée, par intervalles, de potée d'étain.

Gravure du verre et du cristal. — On grave le verre et le cristal par le même moyen qui sert à les tailler; seulement les disques tournants, qui servent de burins, sont de dimensions extrêmement faibles. Ce sont de très petites roues de fer ou d'acier. On présente l'objet façonné à ces burins tournants, et leur contact superficiel usé légèrement le verre, de façon à y produire les dessins, d'après un type que l'ouvrier a sous les yeux, ou qu'il crée suivant son imagination. Une boue liquide d'émeri ou de grès pulvérisé, tombe, d'un réservoir

supérieur, sur la roue, et accroît la puissance d'usure du métal.

Quelquefois, au lieu d'une roue, l'ouvrier fait usage d'une broche tranchante, fixée contre le tour. Il opère alors en présentant la pièce à graver au-devant de la broche. C'est, on le voit, tout le contraire du travail du graveur sur bois ou sur métal. Le graveur sur bois ou en taille-douce tient le burin à la main, et le fait agir sur la plaque de bois ou de métal, qui est fixe ; ici, c'est le burin qui est fixé, et c'est l'objet à graver que l'on présente, que l'on tourne et retourne, pour le faire entamer par l'outil.

Verre trempé. — Une découverte importante a été faite, de nos jours, dans les propriétés du verre. Un chimiste français, M. de la Bastie, reconnu, en 1875, que si l'on plonge dans l'huile chaude, ou dans de la vapeur d'eau à $+ 100^{\circ}$, du verre fondu et rougi au feu, le verre acquiert, par cette véritable *trempe*, analogue à celle de l'acier, une dureté considérable, c'est-à-dire cinq à six fois supérieure à celle du verre ordinaire. A l'Exposition de 1878, où le verre trempé figura avec honneur, on faisait une expérience bien démonstrative sous ce rapport. On enfermait dans un panier à salade des gobelets de verre ordinaire avec d'autres en verre trempé, et l'on secouait le panier. Les gobelets en verre ordinaire étaient réduits en morceaux, pendant que tous les gobelets en verre trempé demeuraient intacts.

L'usage de *tremper* le verre commence à se répandre dans les verreries. On se sert de vapeur d'eau pour effectuer cette trempe, et le produit ne coûte pas beaucoup plus cher que le verre ordinaire.

L'inconvénient du verre trempé, c'est l'impossibilité où l'on est de le couper, de l'entamer, sans qu'il vole en éclats. C'est ce qui empêche de le consacrer à la fabrication des vitres et ce qui limite considérablement ses applications.

Comparativement au verre ordinaire, le verre trempé est huit à dix fois plus résistant. A la *Société polytechnique* de Berlin, en 1877, on laissa tomber de différentes hauteurs une balle de plomb, pesant 120 grammes, sur des feuilles de verre disposées horizontalement sur quatre appuis. Une chute de ce poids, à 30 centimètres de hauteur, brise une plaque de verre ordi-

naire ; une plaque de verre trempé ne fut brisée que par une chute à 2 mètres de hauteur, une autre à 3 mètres, et il fallut même plusieurs chocs de la balle.

On ne peut donc pas dire, rigoureusement, que le verre trempé soit *incassable*, comme on l'avait d'abord assuré. Seulement il résiste dix fois plus à la rupture que le verre ordinaire, et c'est là un fait très important.

Tout le monde a applaudi à la découverte du verre trempé, sauf les marchands de verre... On en devine la raison !



VIII

LES POTERIES, LA FAIENCE.

ET LA PORCELAINES

Composition générale des poteries. — Les briques. — Les poteries communes. — Le tour à potier. — Les vases grecs et étrusques. — Les faïences. — Histoire des faïences. — Bernard Palissy. — Fabrication des faïences. — La porcelaine. — Histoire de la porcelaine. — Préparation de la porcelaine. — Façonnage des pièces. — Moulage et coulage. — Couverte et glaçure. — Cuisson. — Peinture et dorure de la porcelaine.

On donne le nom d'*argile* à des mélanges naturels de silice et d'alumine. Les argiles, qui forment, dans les terrains où on les rencontre, des couches tantôt horizontales, tantôt inclinées, ont beaucoup d'influence sur la circulation des eaux souterraines : ces eaux s'arrêtent à leur surface. Ainsi se forment, dans les profondeurs du sol, les masses liquides que va chercher la tige du foreur, pour en faire jaillir les sources artésiennes.

Les argiles sont caractérisées par leur toucher gras et onctueux et leur propriété de former, quand on les pétrit avec de l'eau, une pâte liante ductile, qui peut être lissée, polie sous le doigt, et prendre toutes les formes que l'on désire.

Un autre caractère non moins essentiel de l'argile, c'est que, quand on l'expose à l'action d'un feu violent, elle perd toutes les propriétés que nous venons d'énumérer, devient im-pénétrable à l'eau, comme à tous les liquides, et acquiert une dureté si prononcée qu'elle peut faire feu au briquet.

L'emploi de l'argile pour la confection des poteries repose sur cette modification profonde que la chaleur lui fait subir.

Toutes les poteries, quelle que soit leur valeur, depuis la porcelaine la plus précieuse, jusqu'aux plus infimes vases de terre employés dans les ateliers et dans les cuisines, sont préparées au moyen d'une pâte de terre argileuse, moulée et ensuite calcinée à une haute température. Cette calcination rend l'argile dure, impénétrable aux liquides et inattaquable par la plupart des agents chimiques.

Les poteries, si nombreuses et si variées, qui servent à tant d'usages dans les arts ou dans l'économie domestique, ne diffèrent donc entre elles que par la pureté de l'argile employée à leur confection.

Nous traiterons successivement des *poteries communes*, des *faïences* et de la *porcelaine*.

Briques et poteries communes. — Les premiers objets en terre cuite que l'homme ait su fabriquer sont les briques qui servent aux constructions.

Les briques se préparent au moyen d'une argile grossière, telle qu'on la rencontre dans une foule de localités. On a l'habitude de laisser pourrir l'argile pendant sept à huit mois avant de l'employer, ce qui la rend plus liante et plus plastique.

Pour faire les briques, on ajoute à l'argile la quantité d'eau nécessaire pour en former une pâte et on façonne cette pâte dans la forme vulgairement connue.

On façonne les briques à la main ou dans des cadres rectangulaires saupoudrés de sable.

Pour les cuire, on les met en tas, en ménageant çà et là des intervalles où l'on fait brûler le combustible. On les cuit également dans des fours.

Les briques cuites doivent leur couleur rouge à l'oxyde de fer qu'elles contiennent.

Les pots à fleurs, les assiettes communes, etc., etc., sont fabriqués avec la même argile qui sert à faire les briques.

Les poteries, en général, se façonnent toutes sur le *tour à potier*. Il nous importe donc de décrire, avant d'aller plus loin, cet instrument, l'un des plus anciens de l'industrie humaine.

Le *tour à potier* (fig. 68) consiste en un grand disque de bois auquel le pied de l'ouvrier communique un mouvement de rotation. Un second disque, plus petit, qui porte la pâte à tra-

plus de dix ans si fort escoulé en ma personne, qu'il n'y avoit aucune forme ni apparence de bosse aux bras ni aux jambes : ains estoient mes dites jambes toutes d'une venue ; de sorte que les liens de quoy j'attachois mes bas de chausses estoient, soudain que je cheminois, sur mes talons... J'étois méprisé et moqué de tous..... L'espérance que j'avois me faisoit procéder en mon affaire si virilement que, plusieurs fois, pour entretenir les personnes qui me venoyent voir, je faisois mes efforts de rire, combien que intérieurement je fusse bien triste.... J'ai



été plusieurs années que, n'ayant rien de quoi faire couvrir mes fourneaux, j'étois toutes les nuits à la mercy des pluës et vents sans avoir aucun secours, aide ny consolation, sinon des chats-huants qui chantoient d'un costé et les chiens qui hurloyent de l'autre..... Me suis trouvé plusieurs fois qu'ayant tout quitté, n'ayant rien de sec sur moy à cause des pluies qui estoient tombées, je m'en allois coucher à la minuit ou au point du jour, accoustré de telle sorte comme un homme que l'on auroit traîné par tous les bourbiers de la ville, et m'en allant ainsi retirer, j'allois bricolant sans chandelle, et tombant d'un costé et d'autre, comme un homme qui seroit ivre de vin, rempli de grandes tristesses ! »



Fig. 75 et 76. Majoliques italiennes du seizième siècle.

Bernard Palissy raconte, dans une autre partie de son ouvrage, que plus d'une fois, manquant de bois pour alimenter le

foyer de ses fours à faïence et pour mettre ses émaux en fusion,

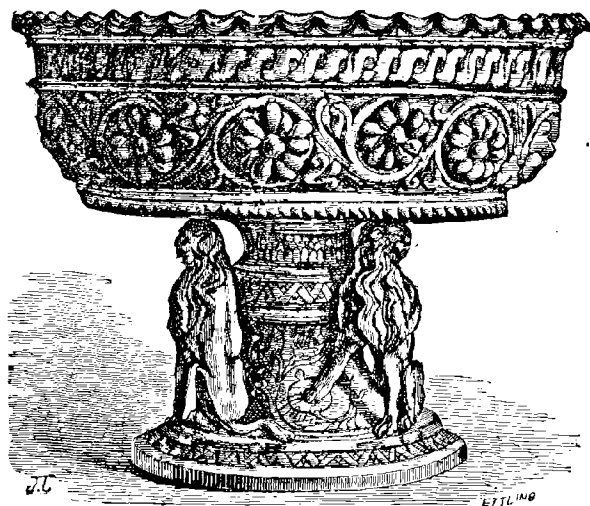


Fig. 77. Coupe de faïence italienne du seizième siècle.

il fit briser et jeter au feu ses meubles et tout ce qui se rencontrait de combustible sous sa main, dans ce moment critique (fig. 79).



Fig. 78. Bernard Palissy.

Bernard Palissy appartenait à la religion réformée, qu'il refusa d'abjurer. En 1588, Henri III le fit jeter dans une prison, où on le laissa mourir.

Passons à la fabrication des faïences.

Les faïences s'obtiennent en calcinant dans des fours une pâte argileuse pure, additionnée de silex en poudre, matière

qui a la propriété de blanchir la pâte des poteries.

La pâte des faïences est donc une argile additionnée de silex. Elle reste blanche après la cuisson, quand elle est pure, mais elle se colore en rouge ou en brun quand elle est impure. La faïence anglaise, ou faïence fine, est d'une pâte qui demeure toujours blanche après la cuisson, parce qu'elle renferme une grande quantité de silex broyé, qui a la propriété d'empêcher la coloration des argiles cuites. Au contraire, les faïences communes de France donnent, par la cuisson, une pâte colorée.



Fig. 79. Bernard Palissy fait brûler ses meubles, pour entretenir le feu de ses fourneaux.

Toutes les faïences doivent être recouvertes d'un vernis, lequel donne à la poterie l'éclat et le poli, en même temps que l'imperméabilité aux liquides. Si la pâte est incolore après la cuisson, telle que la faïence fine anglaise, qui reçut de 1760 à 1770 de grands perfectionnements entre les mains de Wedgwood, et qui est caractérisée par une pâte blanche, opaque, à texture fine, on la recouvre d'un vernis transparent, c'est-à-dire d'un véritable verre, que l'on obtient par un mélange de sable et d'oxyde de plomb. Par sa translucii-

dité, ce vernis laisse apercevoir à travers sa substance la



Fig. 80. Plat de faïence, peinte et décorée, de Bernard Palissy.

couleur blanche et mate de la poterie. Si, au contraire,



Fig. 81. Vase de faïence, peinte et décorée, de Bernard Palissy.

comme c'est le cas le plus général, la pâte de la faïence est

d'une couleur rougeâtre, il faut l'envelopper d'une couverte opaque, afin de masquer la couleur de la pâte. Ce vernis opaque est un émail, c'est-à-dire une combinaison de silice et d'oxyde d'étain.

Voici comment on opère pour appliquer la couverte sur les faïences. On pulvérise, de manière à réduire à un état de grande division, la matière destinée à servir de couverte, et qui consiste, comme nous l'avons dit, en un émail à base d'étain ou à base de plomb. On délaye cette poudre dans de l'eau, que l'on agite de manière à tenir la poudre en suspension, et l'on plonge, pendant quelques instants seulement, dans ce liquide, la pièce de poterie cuite, et par conséquent poreuse et très absorbante. Par cette rapide immersion, la pièce absorbe une certaine quantité du liquide qui tient la poudre en suspension ; l'eau pénètre à l'intérieur de sa substance, et il reste à la surface de la pièce une légère couche d'émail pulvérulent. La pièce étant ensuite portée au four, l'eau s'évapore ; l'émail, matière très fusible, fond par la chaleur, et forme, à la surface de la pièce, une enveloppe de vernis qui est opaque ou translucide, selon la nature des matières qui entrent dans sa composition.

Porcelaine. — La porcelaine est la plus précieuse des poteries, parce qu'elle est obtenue avec une argile particulière, nommée *kaolin*, qui est d'une blancheur parfaite et d'une pureté absolue.

L'art de fabriquer la porcelaine a été connu et mis en pratique de temps immémorial en Chine et au Japon, où il existe de très riches gisements de kaolin. Le monument célèbre connu sous le nom de *tour de porcelaine*, — et qui fut détruit, au commencement de notre siècle, dans une des grandes insurrections chinoises, — fait comprendre à quel point la porcelaine était commune en Chine dès les temps les plus anciens.

Ce n'est pourtant que dans les premières années du dix-septième siècle que des voyageurs revenant de l'Orient apportèrent et firent connaître en Europe ce produit céramique. Tout aussitôt, on s'occupa avec ardeur, en différentes parties de l'Europe, d'imiter et de reproduire cette précieuse poterie. Les souverains consacrèrent des sommes considérables à provoquer cette découverte, qui aurait enrichi leurs États.

Les figures 82 et 83 donnent deux spécimens de vases de porcelaine de Chine, aujourd'hui si communs, et les figures 84 et 85 des échantillons de porcelaine du Japon.

C'est en 1704 que l'art d'imiter la porcelaine de Chine fut trouvé en Saxe, par un alchimiste nommé Bötticher, après de longues recherches faites par ordre de l'Électeur de Saxe. Un gisement de kaolin trouvé près d'Auë lui permit de réaliser cette remarquable découverte. En 1707, l'Électeur de Saxe créait à Dresde la première manufacture de porcelaine que l'on ait vue en Europe.

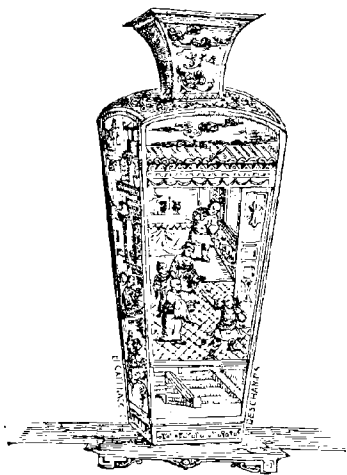


Fig. 82. Vase en porcelaine de Chine.

Mais l'histoire de la découverte de la porcelaine en Saxe présente trop d'intérêt pour que nous ne la rapportions pas avec quelques détails.

A la fin du dix-septième siècle, on s'occupait beaucoup, en Europe, de chercher à reproduire la porcelaine, que la Chine et le Japon avaient le privilège exclusif de préparer, et dont la fabrication était tenue fort secrète dans ces deux pays. Les princes faisaient entreprendre à leurs frais des recherches pour trouver la manière de fabriquer ces précieuses poteries, qui étonnaient par leur blancheur, leur force de résistance et leur transparence. L'Électeur de Saxe avait chargé le comte Ehrenfried Walther de Tschirnhaus de faire des essais dans cette direction. Le hasard fit qu'à la même époque, un alchimiste, nommé Bötticher, avait été, par l'ordre de l'Électeur de Saxe, mis en prison dans cette même forteresse de Kœnigstein, pour s'y livrer, dans l'intérêt de l'Électeur, à la recherche de la pierre philosophale. Témoin des essais du comte de Tschirnhaus relatifs à la fabrication de poteries semblables à la porcelaine de Chine, Bötticher lui donna quelques bons avis, si bien qu'il fut invité par le comte à prendre part à ses travaux. Son talent de chimiste et ses connaissances en minéralogie donnèrent à Bötticher le moyen d'obtenir, dans les

recherches pour la fabrication de la porcelaine, quelques bons résultats. Le comte de Tschirnhaus décida alors l'alchimiste à s'adonner entièrement à ce problème industriel, plus sérieux et plus important que celui dont l'Électeur attendait



Fig. 83. Vase en porcelaine de Chine, avec peinture et décors.

la solution, c'est-à-dire la prétendue fabrication artificielle de l'or par la pierre philosophale.

En 1704, Bötticher découvrit la manière d'obtenir la porcelaine rouge, c'est-à-dire un grès céramique, espèce de poterie très dure et qui ne diffère de la porcelaine que par son opacité.

Ce premier succès, ce premier pas dans l'imitation des porcelaines de la Chine, satisfit beaucoup l'Électeur de Saxe. Pour lui faciliter la continuation de ses doubles travaux, c'est-à-dire de ses recherches céramiques et de ses expériences alchimiques,

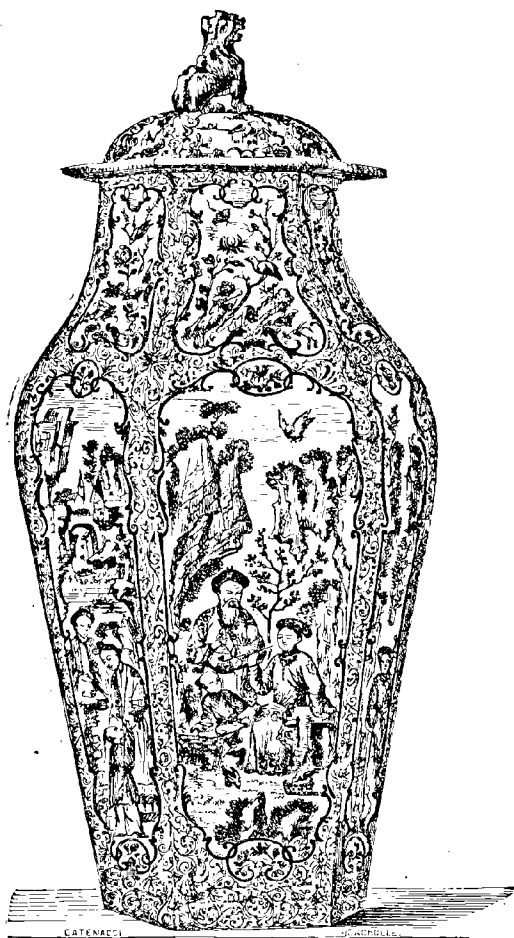


Fig 81. Vase en porcelaine du Japon, avec peinture et décors.

ce prince fit transporter Bötticher, le 22 septembre 1707, de la forteresse de Kœnigstein, à Dresde, ou plutôt dans les environs de cette ville, dans le château d'Albert (Alberstein) où l'on avait établi un laboratoire de chimie et des ateliers de céramique.

C'est là que Bötticher reprit, avec le comte de Tschirnhaus, ses essais pour fabriquer la porcelaine blanche. On ne s'était néanmoins relâché en rien de la surveillance dont l'alchimiste était l'objet; il était toujours gardé à vue. Il obtenait quelquefois la per-

mission de se rendre à Dresde; mais alors le comte de Tschirnhaus, qui répondait de sa personne, l'accompagnait dans sa voiture.

Nous prions les lecteurs qui seraient tentés de mettre en doute la véracité de ces détails, de vouloir bien se rappeler

qu'au dix-huitième siècle, les nombreux essais que l'on fit en Europe, pour la fabrication de la porcelaine, étaient partout environnés du secret le plus rigoureux ; — que la première manufacture de porcelaine qui fut établie en Saxe, celle du château d'Albert, dont nous venons de parler, était une véritable forteresse, avec herse et pont-levis, dont nul étranger ne pouvait franchir le seuil ; — que les ouvriers reconnus coupables d'indiscrétion étaient condamnés, comme criminels d'État, à une détention perpétuelle, — et que, pour rappeler leur devoir à tous les employés de la fabrique, on écrivait chaque mois, sur la porte du château d'Albert, ces mots : *Secret jusqu'au tombeau*. Ainsi l'Électeur de Saxe avait deux motifs de veiller avec vigilance sur la personne de Bötticher, occupé, sous ses ordres, à la double recherche de la porcelaine et de la pierre philosophale.

Le comte de Tschirnhaus mourut en 1708 ; mais cet événement n'interrompt point les travaux de Bötticher, qui réussit, l'année suivante, à fabriquer la véritable porcelaine blanche, en se servant du kaolin qu'il avait découvert à Auë, près de Schneeberg.

C'est au milieu de l'étroite surveillance dont il continuait d'être entouré, que notre chimiste fut forcé d'exécuter les essais, si pénibles et si longs, qui le conduisirent à cette découverte. Mais sa gaieté naturelle ne s'alarmait point de ces obstacles. Il fallait passer des nuits entières autour des fours de porcelaine, et pendant des essais de cuisson qui duraient trois ou quatre jours non interrompus, Bötticher ne quittait pas la place et savait tenir les ouvriers éveillés par ses saillies et sa conversation piquante.



Fig. 86. Théière en porcelaine du Japon.

Fort de l'avantage qu'il venait d'obtenir, certain d'enrichir, par sa découverte, les États de son souverain, Bötticher osa avouer à l'Électeur qu'il ne possédait point, comme il s'en était vanté, le secret de la pierre philosophale. L'Électeur de Saxe pardonna à Bötticher. La fabrication de la porcelaine valait mieux, pour la Saxe, qu'une fabrique d'or.

Nous avons dit qu'une première fabrique de porcelaine

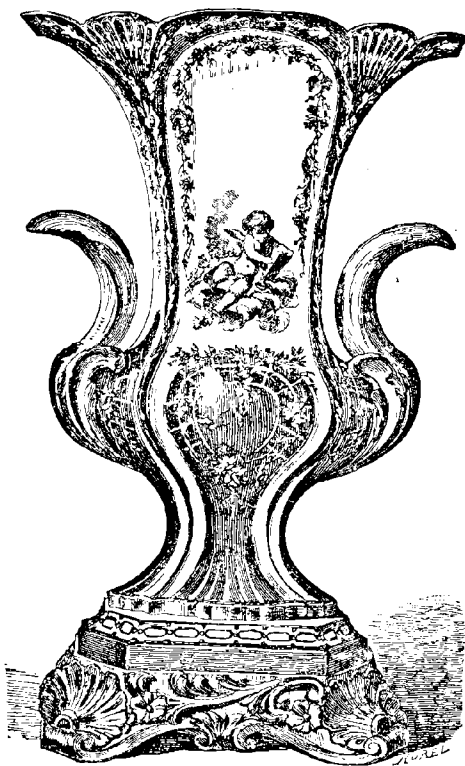


Fig. 87. Vase en porcelaine tendre de la manufacture de Sèvres, ou vieux Sèvres.

rouge avait été établie à Dresde, en 1706, du vivant du comte de Tschirnhaus. Une autre fabrique de porcelaine blanche fut créée en 1710, dans le château d'Albert, lorsque Bötticher eut découvert l'heureuse application du kaolin d'Auë.

En France, les efforts faits pour arriver à imiter la porcelaine de la Chine et du Japon finirent également par aboutir à de bons résultats. En 1727, on commença à fabriquer en France une poterie blanche, translucide, à couverte brillante, qui diffère, par sa composition, de la

porcelaine dure, et qu'on appelle *porcelaine tendre*, ou *vieux Sèvres*. Mais la fabrication de cette pâte, très coûteuse et très difficile, cessa dès qu'on eut découvert à Saint-Yrieix, près de Limoges, un gisement de kaolin, qui permit de fabriquer une porcelaine dure en tout semblable à celle de la Chine.

La manufacture royale de Sèvres fut fondée en 1756. Dès l'année suivante, l'impératrice Marie-Thérèse recevait de

Louis XV un service de cette porcelaine. Depuis cette époque un grand nombre de manufactures pour la fabrication de la porcelaine s'établirent en France.

Fabrication de la porcelaine. — Nous croyons nécessaire d'entrer dans quelques détails sur les procédés qui servent à la fabrication de la porcelaine. Ces renseignements seront utiles au lecteur, en ce sens que la plupart des poteries se préparent à peu près comme la porcelaine.

L'argile employée pour la fabrication de la porcelaine est le *kaolin*, ou argile de Saint-Yrieix, qui est blanche et douce au toucher. On y ajoute un peu de sable et de craie.

On réduit ces matières en poudre, sous des meules de grès, puis on les lave, pour séparer les grains grossiers. Après les avoir mêlées et humectées d'eau, on en forme une pâte, qu'un homme mélange intimement en la piétinant. On abandonne ensuite la pâte, pendant plusieurs mois, dans des caves, où elle pourrit, ce qui veut dire que la petite quantité de matière organique qu'elle peut contenir, se détruit par la fermentation.

Avant de procéder à la confection des pièces, on malaxe la pâte à la main, on en forme des boules, qu'on lance avec force sur la table de travail, pour en faire sortir les bulles de gaz qu'elle contient après sa pourriture.

Ce premier façonnage, ou *ébauchage*, se fait sur le tour à potier, que nous avons décrit plus haut (fig. 67, page 113). Mais la pièce ainsi préparée est encore d'une forme imparfaite. On lui donne sa forme définitive dans une seconde opération, appelée le *tournassage*. On laisse la pièce se dessécher quelques jours, et, quand elle a acquis de la dureté, l'ouvrier la place sur le tour, et, l'entamant avec un instrument tranchant, il lui donne l'épaisseur et les contours nécessaires.

La figure 88 représente un ouvrier qui *tourne* un vase.

Pour façonner les assiettes et plats sur le tour à potier, et les faire tous d'égale dimension, on se sert d'un instrument d'acier, appelé *gabarit* (fig. 89), qui représente, par son tranchant, le profil qu'il faut donner au plat ou à l'assiette. On place le *gabarit* par-dessus l'assiette, à une hauteur convenable pour que le tranchant vienne se mettre en contact

avec la pièce, et par le mouvement du tour, grâce à cette espèce de patron, on façonne exactement l'assiette avec la dimension voulue (fig. 90).

Toutes les pièces ou parties de pièces de porcelaine, ne sont

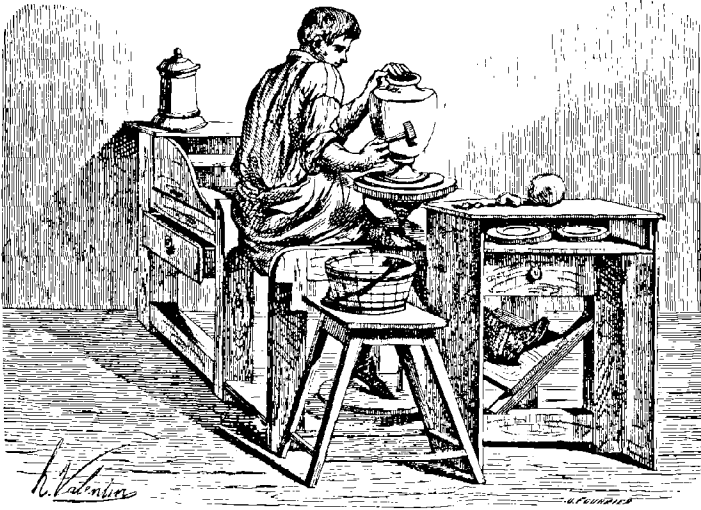


Fig. 88. Tournassage d'une pièce.

pas façonnées par l'ouvrier sur le tour. Beaucoup d'objets se façonnent par le *moulage* et par le *coulage*.

On façonne par le *moulage* et par le *coulage* les objets qui

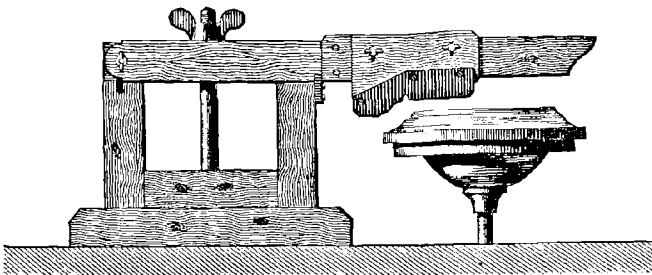


Fig. 89. Gabarit pour les assiettes.

ne peuvent se fabriquer sur le tour à potier, en raison de leurs formes, qui ne sont pas des surfaces régulières et symétriques.

Les moules dans lesquels on façonne la pâte de porcelaine, sont en terre, en plâtre, ou en métal. Le plus souvent ils sont

composés de différentes parties. On réunit les différents moulages pour obtenir l'objet entier.

Pour mouler la pâte, on opère au moyen des doigts, c'est-à-dire en pressant avec le pouce les petites balles de pâte à l'intérieur du moule, et les comprimant fortement, pour les faire pénétrer dans toutes ses anfractuosités. C'est ce que l'on appelle le moulage à la *balle*.

On opère également le moulage au moyen d'une feuille, plus ou moins épaisse, de pâte de porcelaine, que l'on applique avec force à la surface du moule, de manière à bien en reproduire toutes les parties. Les feuilles de pâte ont été obtenues en écrasant la pâte terreuse sur une table, avec un



Fig. 90. Façonnage d'une assiette sur le tour à potier, avec le *gabarit*.

rouleau de bois. C'est à peu près le travail du pâtissier quand il fait une feuille de pâte avec de la farine qui a été délayée et pétrie à la main.

L'ouvrier qui applique sur le moule la feuille de porcelaine, ainsi que le représente la figure 91, opère également comme le pâtissier lorsqu'il applique la feuille de pâte sur la surface d'un moule en cuivre pour former la croûte d'un pâté.

Pour les pièces rondes, comme les anses, les becs, etc., on se sert de moules composés de deux parties égales, représentant, chacune, la moitié de l'anse, du bec, etc. On moule chaque moitié de la pièce avec de la pâte de porcelaine; et la

pâte étant encore molle, on rapproche les deux moitiés du moule, pour en composer l'objet entier.

Les tubes et les cornues, ainsi que beaucoup d'autres pièces creuses, se font par *coulage*. Voici en quoi consiste cette opération.

On prépare une bouillie claire avec la pâte de porcelaine délayée dans une assez grande quantité d'eau, et on verse cette bouillie dans un moule poreux en plâtre. Le moule absorbe l'eau, et une couche de pâte reste adhérente à la face intérieure du moule. On rejette l'excès de bouillie, et on rem-

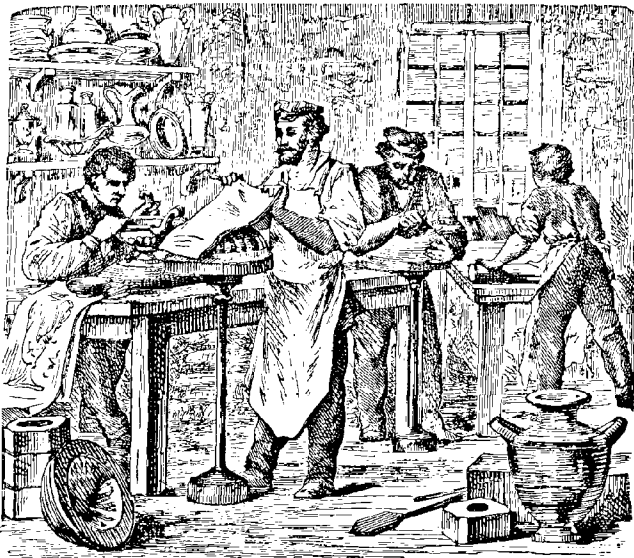


Fig. 91. Moulage de la porcelaine à la croûte.

plit de nouveau le moule. Il se forme une seconde couche de pâte : on continue ainsi, jusqu'à ce qu'on ait obtenu l'épaisseur suffisante.

Les pièces de porcelaine façonnées par ces diverses méthodes, sont abandonnées à l'air, où elles se dessèchent lentement ; puis on les soumet à une première cuisson, dans la partie supérieure du four à porcelaine.

Elles prennent ainsi une certaine consistance, mais elles sont très poreuses et ne sauraient être employées en cet état

aux usages auxquels sont destinées les poteries. Elles portent alors le nom de *biscuit*.

La *couverte*, ou *glacure*, qui s'applique après la première cuisson de la porcelaine, a pour effet de s'opposer à l'absorption des liquides par la pâte de la poterie, et de lui donner un éclat et un poli agréables à l'œil.

La matière qui constitue la *couverte*, ou *vernîs*, de la porcelaine, c'est le *feldspath*.

Le *feldspath*, fait bien curieux, est la roche même qui, en se décomposant, fournit le kaolin. Il est fusible à une température très élevée, tandis que le kaolin n'est pas fusible.

Voici comment on s'y prend pour appliquer sur la porcelaine *dégourdie*, c'est-à-dire ayant subi une première cuisson, la *couverte* feldspathique.

Le feldspath, qui doit servir de *couverte* ou de *vernîs*, est réduit en poudre extrêmement fine, puis mis en suspension dans l'eau. Un ouvrier plonge, avec adresse, la pièce de porcelaine *dégourdie* dans le liquide : l'eau est absorbée par la pâte poreuse, et la matière vitrescible se dépose à sa surface. Il ne reste plus qu'à exposer la pièce ainsi recouverte de la substance qui formera son *vernîs*, ou sa *couverte*, à l'action d'une très haute température.

La cuisson de la porcelaine se fait, à la manufacture de Sèvres, dans un four à deux étages (fig. 92). L'étage supérieur, P, sert, comme nous l'avons dit, à donner à la pièce une première cuisson ; l'étage inférieur, F, sert à la cuisson définitive. Chacun de ces étages est chauffé par quatre foyers extérieurs, G, accolés au four, et que l'on nomme *alandiers* ; la flamme pénètre dans le four par des ouvertures latérales.

Le dôme, A, qui termine le four, sert à dessécher le bois qui sert au chauffage du four, ou à chauffer les matières qui doivent composer les émaux, destinés à la peinture et au décor de la porcelaine.

Pour cuire chaque pièce de porcelaine, on l'enferme dans un vase appelé *cazette*, qui a une forme appropriée à la forme même de la pièce, et qui a pour effet de la préserver pendant la cuisson de l'action des cendres, de la fumée, etc., venant du foyer.

Les *cazettes* sont fabriquées avec des argiles infusibles, afin qu'elles puissent résister à la violence de la chaleur.

Quand le four est plein, on mure les portes avec des briques réfractaires, et on donne le feu. La cuisson n'est terminée qu'après trente-six heures.

Quand le four est refroidi, ce qui exige plusieurs jours,

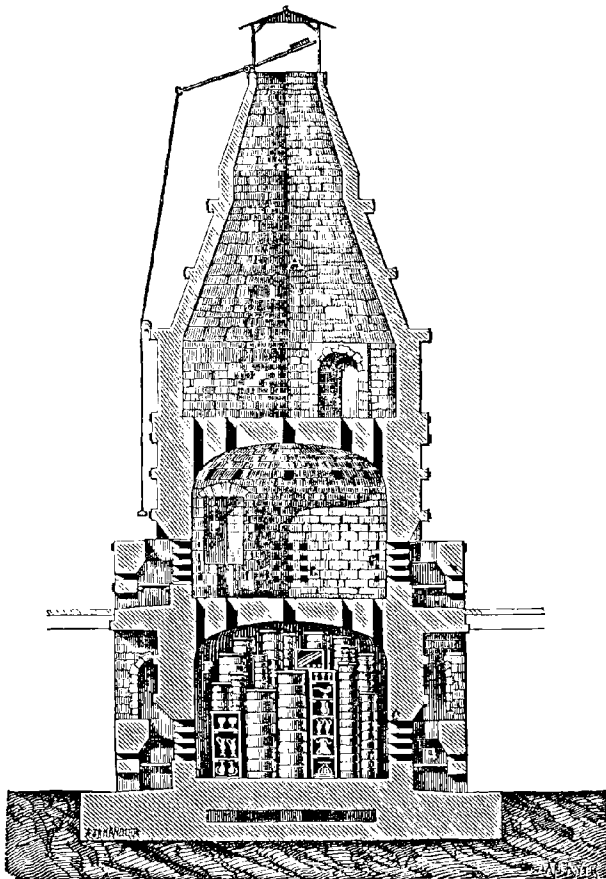


Fig. 92. Coupe d'un four à porcelaine de la manufacture de Sèvres.

on en retire les *cazettes* contenant les pièces cuites, et on extrait ces pièces des *cazettes*.

Nous représentons dans la figure 93 la coupe d'une *cazette* contenant des pièces à cuire.

Si l'on veut peindre ou dorer la porcelaine, c'est-à-dire la

dorer, ou la *décorer*, selon l'expression consacrée, on applique sur la pièce déjà cuite et recouverte de son vernis feldspathique, l'or en poudre ou les autres substances minérales diversement colorées qui servent à effectuer le dessin sur la couverte. Ces substances minérales colorées sont mêlées d'un *fondant*, qui est ordinairement le borax.

On porte dans un four particulier, de petite dimension,

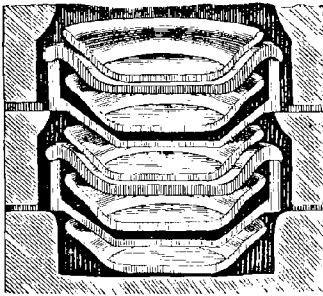


Fig. 93.
Cazette.

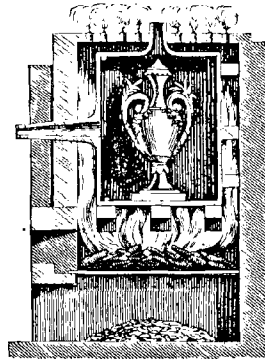


Fig. 94. Moufle, ou four pour cuire
les porcelaines peintes.

nommé *moufle* (fig. 94), les pièces qui ont reçu ces peintures. Par l'action de la chaleur, le borax fond, ainsi que les couleurs, et cette fusion détermine l'adhérence des matières minérales colorées avec le vernis de la porcelaine.

Les couleurs des peintures sur porcelaine sont très peu altérables; elles résistent à tous les lavages et à l'action des liqueurs alcalines ou acides. Incorporées à la couverte, elles font, pour ainsi dire, partie de la substance de la poterie, et sont, dès lors, indestructibles.



IX

LES LUNETTES D'APPROCHE

Histoire de l'invention des lunettes d'approche. — Frascator et J.-B. Porta. — La lunette d'approche découverte en Hollande, en 1606, par Jean Lippershey. — Première lunette vue à Paris. — Galilée construit à Venise, en 1609, la lunette astronomique d'après le bruit public de l'existence de cette lunette. — Théorie des lunettes d'approche. — Lentilles. — Effet grossissant de la lentille bi-convexe. — La lunette astronomique. — La lunette terrestre ou longue-vue. — La lorgnette de spectacle.

L'invention des lunettes est toute moderne. Les anciens examinaient les astres avec de longs tuyaux, de manière, dit



Fig. 95. Les astres examinés chez les anciens à travers de longs tuyaux.

Aristote, à reproduire l'effet d'un puits, du fond duquel on voit les étoiles en plein jour. Un tel moyen n'avait rien de

commun avec les instruments d'optique dont nous avons à nous occuper.

On lit dans un ouvrage de Frascator, publié à Venise, en 1538 : « Si on regarde à travers deux verres oculaires placés l'un sur l'autre, on voit toutes choses plus grandes et plus proches. »

On lit encore dans la *Magie naturelle*, ouvrage publié en 1589 par le physicien napolitain, J.-B. Porta, qu'en réunissant une lentille convexe et une lentille concave, on peut voir les objets agrandis et distincts.

Cependant aucun de ces deux physiciens n'a construit d'appareil d'optique réalisant la lunette d'approche.

Il résulte de documents trouvés dans les archives de la ville de la Haye, que le 2 octobre 1606, Jean Lippershey, opticien de Middelbourg, en Hollande, demandait aux États-Généraux de son pays un privilège de trente ans, pour la construction d'un instrument servant à faire voir les objets très éloignés, *comme cela a été prouvé à messieurs les membres des États-Généraux*. Quatre jours après, une commission nommée par les États-Généraux décidait que l'instrument de Lippershey serait utile, mais qu'il fallait le perfectionner, afin qu'on pût y voir des deux yeux. L'instrument reçut de l'inventeur cette modification deux ans après, c'est-à-dire le 15 décembre 1608.

Le 17 octobre 1608, un savant hollandais, Jacques Metius, fabriquait, de son côté, un instrument qui, selon lui, était tout aussi bon que celui de l'opticien de Middelbourg.

Comment l'opticien de Middelbourg, Jean Lippershey, était-il parvenu à construire la lunette d'approche? Est-ce par la force de son génie, ou par l'effet du hasard? « Je mettrais au-dessus de tous les mortels, a dit le grand physicien Huygens, celui qui, par ses seules réflexions, et sans le concours du hasard, serait arrivé à l'invention des lunettes d'approche. » Si l'on en croit la tradition, Lippershey ne serait arrivé que par hasard à créer cet admirable instrument. On rapporte qu'un étranger ayant commandé à Lippershey des lentilles convexes et concaves, vint les chercher au jour convenu, en choisit deux, les mit devant son œil, en les éloignant et en les écartant tour à tour, paya, puis partit sans rien dire. Lippershey, demeuré seul, imita, dit-on, les dispositions qu'il avait vu employer par l'étranger, et reconnut ainsi le grossis-

sement que donne la position relative des deux lentilles. En fixant alors les deux verres aux deux extrémités d'un tube, il construisit la première lunette d'approche.

Suivant une autre version, les enfants de Jean Lippershey ayant rapproché par hasard et à la distance voulue deux lentilles, dont l'une était concave et l'autre convexe, poussèrent des cris de joie en voyant de si près le coq du clocher de Middelbourg. Lippershey, qui était présent, fixa les deux verres sur une planchette, ensuite les posa aux deux extrémi-



Fig. 96. Les enfants de l'opticien Lippershey découvrent, par hasard, la lunette d'approche.

tés d'un tube noirci à l'intérieur, et construisit ainsi, pour la première fois, l'instrument merveilleux dont nous parlons.

De quelque manière que Lippershey soit arrivé à ce résultat, il semble bien démontré aujourd'hui que c'est à cet artiste que revient l'honneur d'avoir construit la première lunette d'approche.

On lit dans le *Journal du règne de Henri IV*, par Pierre de l'Estoile, à la date de 1609 :

« Le jeudi 30 avril, ayant passé sur le pont Marchand, je me suis ar-

rété chez un lunetier qui montrait à plusieurs personnes des lunettes d'une nouvelle invention et usage. Ces lunettes sont composées d'un tuyau long d'environ un pied ; à chaque bout, il y a un verre, mais différent l'un de l'autre. Elles servent pour voir distinctement les objets éloignés qu'on ne voit que très confusément. On approche cette lunette d'un œil, on ferme l'autre, et, regardant l'objet qu'on veut connaître, il paraît s'approcher et on le voit distinctement, en sorte qu'on reconnaît une personne d'une demi-lieue. On m'a dit qu'un lunetier de Middelbourg en Zélande, en avait fait l'invention... »

Le pont Marchand, dont parle Pierre de l'Estoile, traversait la Seine côte à côte avec le pont au Change, et était couvert de maisons.

La nouvelle de l'invention d'une lunette qui grossissait considérablement les objets et permettait d'apercevoir les astres avec de grandes dimensions, ne tarda pas à se répandre en Europe. C'était, comme on vient de le lire, au printemps de 1609. Cette nouvelle arriva à Galilée, qui se trouvait alors à Venise. Sans autre indication que ce bruit populaire, l'illustre physicien entreprit de construire une lunette astronomique, et dans une seule journée de travail il réussit à se fabriquer cet instrument.

Armé de sa lunette, Galilée la tourna vers le ciel étoilé, et, dans quelques nuits d'observations, il fit la plus ample moisson de découvertes qu'aucun homme ait jamais rassemblées en un si court espace de temps. Il aperçut les satellites de Jupiter, et soumit à une inspection attentive la surface de la lune, qui lui apporta tout un monde de révélations et de surprises. Il étudia les étoiles, en un mot il fit du télescope l'usage que pouvait en faire un homme de génie tel que lui.

Nous trouvons dans l'*Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles* pour 1880, publié sous la direction de M. J.-C. Housseau, un récit plein d'intérêt de la manière dont Galilée construisit, sur le bruit public, son télescope, et sur les premières applications qu'en fit l'illustre astronome à l'observation des astres.

« C'est au printemps de 1609, est-il dit dans l'*Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles* que le bruit de l'invention du télescope commença à se répandre. C'est au mois de mai de cette année que Galilée, qui se trouvait alors momentanément à Venise, en reçut la nouvelle par une lettre que Badovere lui écrivit de Paris, et qui contenait quelques explications sommaires sur les dispositions du nouvel instrument. Galilée, à cette annonce, ne perdit pas un moment : il choisit et ajusta deux

verres, il les fixa aux deux extrémités d'un tuyau d'orgue, et le lendemain il fut en état de montrer à ses amis, du haut de la célèbre tour de Saint-Marc, les merveilles de la nouvelle invention.

L'instrument de Galilée, comme celui de Hollande, était formé d'une lentille convexe et d'une seconde lentille concave, cette dernière étant placée à l'extrémité du tube la plus voisine de l'œil. C'est à cet appareil, que Galilée a décrit avec détails, que la postérité a conservé le nom de lunette de Galilée. A travers cet instrument, les objets apparaissent comme s'ils étaient rapprochés ; les astres sont grossis, les particularités des objets sont plus visibles ; en un mot, tous les détails de la Terre et du Ciel sont mieux à portée de notre examen.

Dès les premiers jours qu'il se servait de son appareil, Galilée sentit la nécessité d'évaluer à vue d'œil les distances, en arcs célestes, des différents objets qu'il voyait dans sa lunette. Il imagina un moyen simple d'y parvenir : c'était de déterminer l'étendue de la voûte céleste que l'on distinguait à travers l'instrument et de comparer ensuite les distances à évaluer avec la largeur entière de l'espace vu dans la lunette. En d'autres termes, Galilée voulait comparer toutes les longueurs qu'il apercevait dans son instrument au diamètre du champ de la lunette, diamètre qu'il s'agissait de déterminer préalablement. Dans cette recherche préparatoire, l'illustre professeur florentin montre une entente des théories optiques fort remarquable pour l'époque. Il reconnaît d'abord que les dimensions de l'oculaire et la position de l'œil de l'observateur influent seules sur l'étendue du champ de vision, et il enseigne à évaluer en degrés et fractions de degré ce champ lui-même, d'après les grandeurs et les courbures des verres qui composent la lunette.

C'est avec l'instrument qu'il avait construit dans son premier moment d'inspiration que Galilée commença à explorer le ciel étoilé. Mais il ne tarda pas à en terminer un plus parfait, d'un grossissement de 30 fois environ, qu'il tourna pour la première fois vers les astres le 7 janvier de l'an 1610. L'invention du télescope était désormais pour les sciences, et pour l'Astronomie en particulier, une nouvelle conquête et une acquisition impérissable.

L'Europe entière retentit bientôt des découvertes de Galilée, et l'illustre Kepler adressa, en date du 19 avril de la même année 1610, à l'astronome italien, une lettre chaleureuse, où il lui témoigne tout l'enthousiasme que ses travaux lui ont causé. Kepler admire la simplicité de l'instrument merveilleux ; il demeure surtout étonné que cette application si naturelle de principes optiques connus depuis des siècles soit restée jusqu'alors sans être réalisée. Lui-même avait touché cette invention du doigt. Il finit par entretenir Galilée des observations importantes auxquelles les lunettes pourront être appliquées et que le temps n'avait pas permis encore de tenter.

Kepler possédait alors un télescope ; Simon Marius (en allemand Mayer) s'en était procuré un, mais après des peines infinies, dès les premiers jours de janvier 1610 ; Jean Fabricius, à la fin de la même année, se servait également d'une lunette, dans le fond de la Frise ; enfin Scheiner, en Souabe, avait déjà en mars 1611 une certaine habitude de manier cet

instrument. Ces faits démontrent avec quelle rapidité l'invention du télescope s'est répandue, après être restée quelque temps dérobée à la curiosité humaine. La triple édition dont l'opuscule de Galilée et la lettre de Kepler ont été honorés en moins d'un an, attesterait d'ailleurs la vogue immense qui accueillit les premières découvertes faites par le secours du nouvel instrument.

A cette époque, la plupart des astronomes construisaient eux-mêmes leurs télescopes. C'est seulement plus tard que des artistes spéciaux, tels que Fontana, Ferrier, Chomez, en firent une spécialité, à l'exemple de Torricelli, qui n'avait pas dédaigné de s'appliquer longtemps à la construction des lunettes.

Kepler réunit en 1614, dans une exposition générale, les principes de la réfraction de la lumière dans les lentilles de verre, et y inséra les règles de la construction du télescope. Stelliola, mort en 1632, a laissé un ouvrage spécial sur la construction des lunettes, que Galilée avait jugé digne d'approbation. On ne s'explique pas cependant comment cet ouvrage avait mérité un pareil honneur. Le style en est obscur et lourd, et il n'est guère possible de comprendre ce livre que par les figures.

Mais, à partir de cette époque, la construction des lunettes se répandit et devint bientôt une chose vulgaire. Aussi les auteurs de tous les Traités d'optique commencèrent-ils dès lors à en insérer les règles dans leurs ouvrages. »



On réunit sous le nom de lunettes d'approche : 1° la lunette astronomique ; 2° la lunette terrestre ; 3° la lorgnette de spectacle.

Toute la théorie du jeu physique des lunettes d'approche, en général, repose sur le phénomène de la *réfraction de la lumière*. Il est donc indispensable, pour l'intelligence de ces instruments, de bien comprendre le phénomène de la réfraction de la lumière.

Un faisceau lumineux peut être considéré comme formé de la réunion de plusieurs lignes lumineuses parallèles entre elles. On donne le nom de *rayons lumineux* à ces lignes lumineuses parallèles.

Dans une substance diaphane d'une constitution uniforme, dans une couche d'air par exemple, ou dans une couche d'eau, la lumière se meut en ligne droite. Mais quand un rayon de lumière passe obliquement d'un milieu quelconque, de l'air par exemple, dans un autre milieu qui n'a pas la même densité, comme l'eau ou le verre, ce rayon ne poursuit pas sa route en ligne droite ; il se brise, c'est-à-dire qu'il se meut

dans le second milieu suivant une direction qui ne forme pas son prolongement rectiligne : il se *réfracte*, selon l'expression des physiciens.

C'est sur la propriété que possèdent les rayons lumineux de dévier de leur route directe quand ils passent d'un milieu dans un autre, que repose la construction des lentilles, lesquelles constituent ensuite, par leur réunion convenable, les diverses *lunettes d'approche*.

La *lentille*, l'instrument d'optique le plus simple, nous présente une application de la réfraction de la lumière dans des milieux plus denses que l'air. Les physiciens appellent *lentille* une masse de verre travaillée de manière à être limitée par deux surfaces sphériques. Une lentille bombée sur ses deux faces est dite *bi-convexe*, une lentille creusée sur ses deux faces est dite *bi-concave*.

Quand on place dans la direction des rayons solaires une lentille bi-convexe, les rayons qui rencontrent la surface de

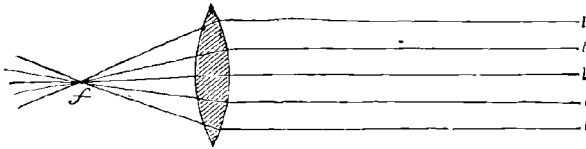


Fig. 97. Effet de la lentille bi-convexe sur les rayons lumineux.

cette lentille et qui la traversent se réfractent deux fois : en entrant dans le verre et en en sortant. Tous s'inclinent donc l'un vers l'autre, et de l'autre côté de la lentille, ils se réunissent ou, comme on dit, ils convergent tous, de manière à se rassembler sur un point qu'on nomme *foyer principal de la lentille*. C'est ce que montre sommairement et simplement la figure 97, dans laquelle le foyer des rayons lumineux réfractés *l, l* est au point *f*.

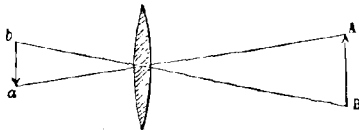


Fig. 98.

D'après cela, si on place un objet lumineux ou éclairé, *AB* (fig. 98), au delà du foyer d'une lentille bi-convexe,

les rayons émanés de *A* convergeront en *a*, et les rayons émanés de *B* en *b*, *a* et *b* étant les foyers de tous les rayons lumineux émanés des points *A* et *B*.

L'image produite par la réunion des foyers correspondants à chacun des points de l'objet pourra être reçue sur un écran blanc, ou bien encore être vue par l'œil placé sur la direction des rayons qui se propagent en divergeant après s'être croisés à leur foyer. C'est cette figure visible au foyer de la lentille que l'on appelle *l'image réelle*.

Plaçons maintenant un objet lumineux ou éclairé, NZ , entre le foyer de la lentille bi-convexe et cette même lentille (fig. 99). Les rayons de lumière qui en émanent se réfracteront en traversant la lentille. Il ne se formera pas au fond de l'œil de l'observateur une image *réelle* de cet objet; seulement l'œil placé de l'autre côté

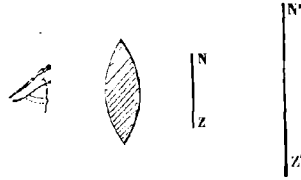


Fig. 99.

de la lentille verra, sur le prolongement des rayons lumineux et du côté de l'objet, une image, $N'Z'$, agrandie de l'objet NZ .

Cette image, que l'on ne peut recevoir sur un écran, est dite *virtuelle*.

Une lentille bi-convexe que l'on place au-devant de l'œil, constitue la *loupe*, ou microscope simple. Cet instrument sert au naturaliste à étudier, soit dans les animaux, soit dans les végétaux, les particularités d'aspect qui seraient invisibles à l'œil nu.

Nous entrerons dans quelques détails sur la *loupe* et son emploi quand nous traiterons du microscope simple.

Lunette astronomique. — L'analyse que nous venons de donner du grossissement des objets par une lentille simple bi-convexe, va nous permettre d'expliquer le jeu physique au moyen duquel la lunette des astronomes fait apercevoir distinctement les grands corps célestes, malgré l'immense étendue qui les sépare de nous. La *lunette astronomique* se compose, en effet, de la réunion de deux lentilles bi-convexes enchâssées aux deux extrémités d'un tube métallique, tube qui est formé de deux parties rentrant l'une dans l'autre, afin que l'observateur puisse faire varier à volonté la distance qui sépare les deux lentilles.

Les dimensions des deux lentilles de cristal placées aux deux bouts de la lunette d'approche, ne sont pas les mêmes. Celle qui est placée près de l'œil de l'observateur, c'est-à-dire *l'oculaire*, est plus petite que celle qui est tournée

du côté de l'objet à observer, et qui prend le nom d'*objectif*.

Nous venons d'expliquer (fig. 99) comment une seule lentille bi-convexe grossit un objet. Deux lentilles semblables, dirigées vers le même objet, le grossissent davantage, le grossissent considérablement, et produisent, par conséquent, l'effet que l'on recherche avec les lunettes d'approche.

La *lunette astronomique* est donc formée par la réunion de deux lentilles bi-convexes : l'une des lentilles servant à former l'image; la seconde à l'amplifier.

La figure 100 fait comprendre comment les deux verres con-

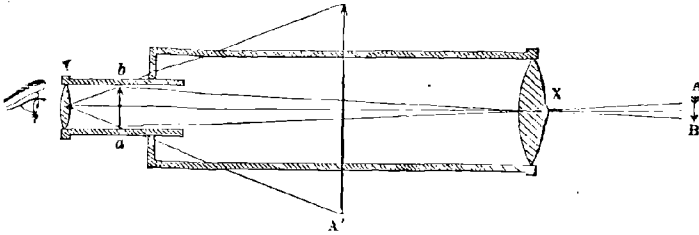


Fig. 100. Théorie géométrique de la lunette astronomique.

vergents de la lunette astronomique grossissent considérablement les objets.

Soit AB l'objet lointain qu'il s'agit d'amplifier à la vue. Plaçons sur le trajet de la lumière, une lunette astronomique, composée d'un objectif bi-convexe, X, très grand, et d'un oculaire, également bi-convexe, très petit, Y. La lentille bi-convexe de l'oculaire vient produire, au foyer de cette lentille, une image, *ab*, de l'objet lointain, et cette image est renversée. Ensuite, l'oculaire Y amplifie cette image sans la retourner, et la montre avec des dimensions très grossies, en A'B'.

Dans une *lunette astronomique* l'objet se voit donc renversé.

L'oculaire est enchâssé dans un tube plus étroit que celui de l'objectif, qui est fixé à l'autre extrémité. Le petit tube glisse à frottement doux dans le grand tube, de manière à pouvoir s'approcher ou s'écarter de l'image *ab* qu'il s'agit d'amplifier.

On peut retirer l'oculaire du tube et le remplacer par un autre à convexité plus grande ou plus petite, ce qui a pour effet d'augmenter ou de réduire le grossissement.

Une *lunette astronomique* grossit les objets de 1 000 à 3 000 fois, selon la dimension de l'oculaire.

La figure 101 représente la *lunette astronomique*. Elle est montée sur un échafaudage qui peut se déplacer grâce aux roues sur lesquelles il repose. Une vis tournante, mue à la main, permet d'élever et d'abaisser à volonté le tube de la lunette pour explorer le ciel.

On remarquera que la grande lunette est accompagnée d'une autre, de dimensions beaucoup plus petites. La petite lunette s'appelle le *chercheur*. Embrassant un espace du ciel

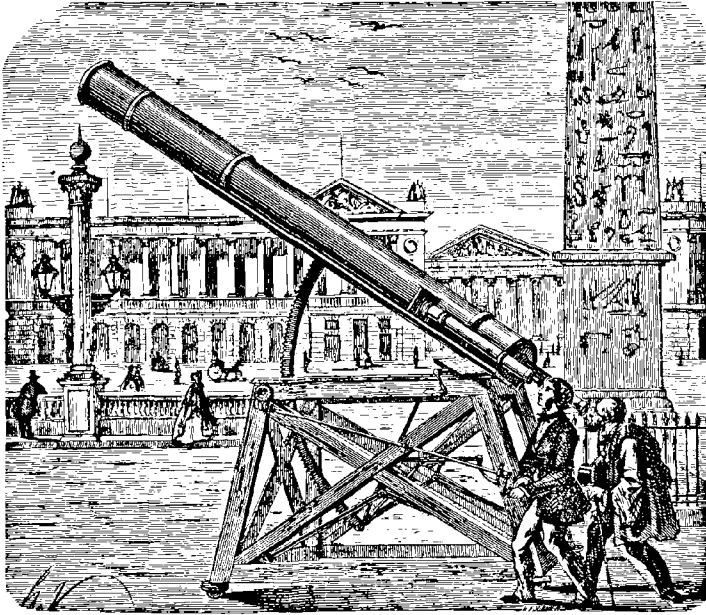


Fig. 101. Lunette astronomique.

plus étendu, le *chercheur* permet de trouver plus promptement l'endroit du ciel où existe l'astre que l'on désire examiner avec la grande lunette. Quand on a trouvé avec le *chercheur* l'astre à examiner, on braque sur ce point la grande lunette.

Dans la lunette astronomique, les images des objets sont renversées ; mais cette circonstance ne présente aucun inconvénient pour l'observation des astres et des corps célestes, dont les dimensions sont circulaires.

Lunette terrestre, ou longue-vue. — La *lunette terrestre, ou longue-vue*, ne diffère de la lunette astronomique que parce

que les images sont redressées. Ce redressement s'obtient en prenant un oculaire bi-concave au lieu d'un oculaire bi-convexe.

La figure 102 fait voir la marche des rayons lumineux et le mode de grossissement dans la *lorgnette terrestre*, ou *longue-vue*. L'objectif O est bi-convexe et l'oculaire o bi-concave.

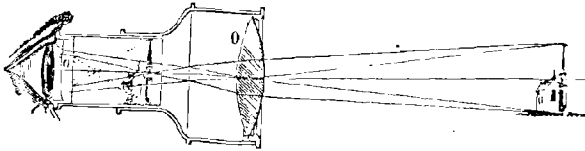


Fig. 102. Théorie géométrique de la lunette terrestre.

L'image de l'objet se forme au foyer de la lentille bi-convexe O, dans un lieu représenté, sur la figure 102, par le point d'intersection des rayons obliques au-devant de l'oculaire o, mais cette image est renversée. Si l'on regardait cette image avec une lentille bi-convexe, comme dans la lunette astronomique, on l'amplifierait beaucoup, mais l'image serait renversée; on la regarde, ainsi qu'il est dit plus haut, à travers un oculaire bi-concave, o, lequel la redresse, mais ne l'amplifie que fort peu.

L'instrument que nous venons de décrire est précisément celui que Galilée construisit; ce fut la première lunette qui servit à observer les astres. On y voyait les objets avec peu d'amplification, mais sans renversement. Kepler en fit la *lunette astronomique*, en employant un oculaire bi-convexe.

Lorgnette de spectacle. — La lorgnette de spectacle n'est autre chose que la lunette de Galilée réduite à de petites proportions et rendue portable. Comme la lunette de Galilée, ou *lunette terrestre*, que nous venons de décrire, elle se compose d'un objectif bi-convexe, pour amplifier les objets, et d'un oculaire bi-concave, pour les redresser. Mais en raison de son oculaire bi-concave, elle n'amplifie que très peu les objets; elle ne les grossit que trois ou quatre fois.

La *lorgnette de spectacle* proprement dite (fig. 103) ne se compose que d'une seule lunette; la *jumelle* se compose de deux lunettes juxta-posées, pouvant se placer simultanément devant les deux yeux.

La *jumelle* a été inventée en 1671, par un capucin, le

P. Chérubin. La *jumelle* (fig. 104) est la réunion de deux *lunettes de Galilée*, ou *lorgnettes de spectacle*, A B, A' B', qui s'appliquent aux deux yeux. Ces deux lunettes sont reliées



Fig. 103. Lorgnette de spectacle.

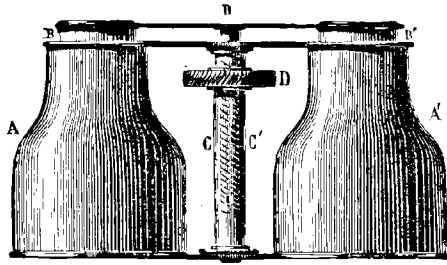


Fig. 104. Jumelle.

ensemble et elles montent ou descendent en même temps, à l'aide d'un pas de vis placé dans un tube creux CC', et d'une crémaillère D, que l'on tourne avec les doigts.



X

LE TÉLESCOPE

Histoire et théorie. — Le télescope de Gregory. — Le télescope d'Herschel.
— Le télescope de lord Rosse. — Le télescope de Foucault.

Comme la *lunette astronomique*, le *télescope* sert à l'observation des astres; mais le grossissement des objets lointains est dû ici à un tout autre effet physique. Dans la lunette astronomique, c'est, comme nous venons de le voir, par un effet de réfraction à travers le verre que les objets sont amplifiés; dans le télescope, le grossissement a lieu par la réflexion des objets lointains opérée sur des miroirs métalliques courbes.

La première idée d'un instrument de ce genre fut émise, au milieu du dix-septième siècle, par le P. Zeucchi. Dans un ouvrage publié à Lyon, en 1652, ce savant dit qu'il lui vint à la pensée, pendant l'année 1616, d'employer des miroirs concaves de métal pour recevoir l'image des corps très éloignés, afin d'obtenir, au moyen d'un simple phénomène de réflexion, les puissants effets de grossissement que l'on n'avait encore réalisés que par la réfraction des rayons lumineux à travers deux lentilles, c'est-à-dire avec la *lunette astronomique*, que nous avons décrite dans le chapitre précédent.

Mettant ce projet en pratique, le P. Zeucchi construisit un télescope à miroir réflecteur qui donnait les mêmes résultats que les lunettes d'approche, découvertes sept années auparavant.

Le *télescope à miroir réflecteur* fut décrit, sinon construit, en 1663, par un physicien anglais, Gregory.

Le *télescope de Gregory*, que l'on désigne quelquefois, à tort, sous le nom de *télescope de Newton*, repose sur le phénomène de la réflexion qu'éprouvent les rayons lumineux en tombant sur une surface concave. Il sera donc nécessaire, pour l'explication des effets de cet instrument, d'entrer dans quelques détails sur la réflexion qu'éprouvent les rayons lumineux tombant sur différentes surfaces.

Quand un faisceau de rayons de lumière tombe verticalement sur une surface plane, opaque et polie, sur une lame de fer-blanc, par exemple, ces rayons reviennent sur eux-mêmes, sans changer de direction. Mais s'ils tombent obliquement, ils se réfléchissent,

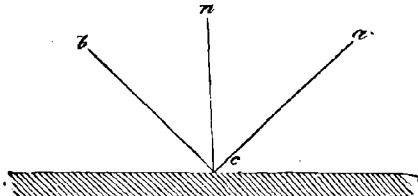


Fig. 105. Réflexion des rayons lumineux sur une surface plane.

c'est-à-dire sont repoussés dans un sens opposé à celui de leur première direction, mais en faisant le même angle avec la surface plane. C'est ce que montre la figure géométrique 105, dans laquelle ac représente le rayon lumineux incident, et bc le rayon réfléchi sur la surface plane, au point c . On voit que les deux angles d'incidence et de réflexion acn , bcn , sont égaux.

Si des rayons parallèles tombent perpendiculairement sur un miroir courbe, ils se dévient de la même façon que s'ils tombaient obliquement sur un miroir plan. Or un miroir sphérique et concave présente partout une surface courbe, hormis au centre; et s'il est frappé par des rayons parallèles, ceux-ci se réfléchissent à sa surface, convergent les uns vers les autres, et finissent par se réunir en un même point de l'axe du miroir. Ce point, c'est le foyer, F (fig. 106).



Fig. 106. Réflexion des rayons lumineux sur une surface courbe.

Si un objet VT est placé en avant d'un miroir concave (fig. 107), les rayons partis de V viendront tous, après leur réflexion, passer sensiblement par le point v , qui sera le foyer

de tous les points lumineux émanés de V. Il en sera de même pour le point T, et on aura ainsi une image renversée en *vt*. Ce miroir concave pourra donc remplacer l'objectif des lunettes,

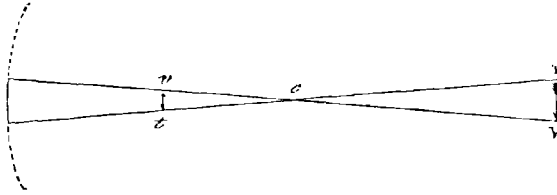


Fig. 107. Aperçu géométrique de la formation d'une image au foyer d'un miroir courbe.

c'est-à-dire former à son foyer une image de l'objet éloigné.

Il faut maintenant amplifier cette image avec un oculaire. Mais on doit nécessairement s'arranger de manière que l'observateur, placé devant l'oculaire, ne s'interpose pas entre l'objet et le miroir, ce qui empêcherait ainsi les rayons lumineux d'arriver au miroir. Voici l'ingénieuse disposition qui fut imaginée par Gregory pour parer à cette difficulté.

Son télescope se compose d'un long tuyau de cuivre AB (fig. 108). A l'un des bouts de ce tuyau est posé un miroir concave, MM, percé, à son centre, d'une ouverture circulaire, P. En

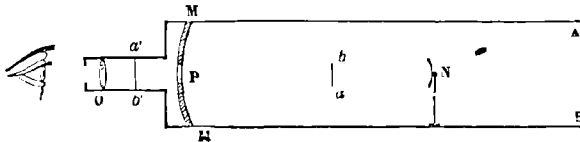


Fig. 108. Théorie géométrique du télescope à miroir.

N est un second miroir concave, qui est un peu plus large seulement que l'ouverture centrale P du premier miroir. Les rayons émis par un astre se réfléchissent sur le grand miroir MM, et forment une première image, en *ab*. Celle-ci se trouve entre le centre et le foyer du petit miroir N, en sorte que les rayons lumineux, après s'être réfléchis sur le petit miroir, N, vont former en *a'b'*, une image, amplifiée et renversée de *ab*, et par conséquent, droite par rapport à l'astre. On amplifie encore cette image en la regardant à travers l'oculaire O, qui est une lentille bi-convexe jouissant, par conséquent, d'un effet amplificateur.

En 1672, Newton fit présent à la *Société royale de Londres*

d'un télescope à réflexion, qu'il avait exécuté de ses propres mains, d'après le système de Gregory que nous venons d'exposer. C'est cette circonstance qui explique l'erreur qui a fait attribuer à Newton la découverte du télescope à miroir, qui, en réalité, appartient à Gregory.

Nous devons ajouter que, dès le treizième siècle, Roger Bacon avait déjà probablement construit et mis en usage, pour ses ob-

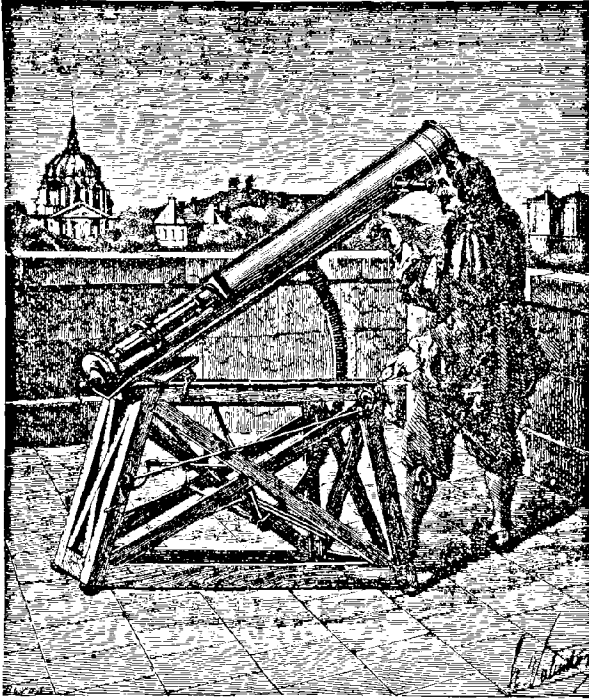


Fig. 109. Télescope de Gregory.

servations astronomiques, un véritable télescope à réflexion.

L'astronome William Herschel, qui vivait à la fin du dix-huitième siècle, a beaucoup contribué, par les gigantesques dimensions des télescopes qu'il construisit, à répandre la connaissance de cet instrument dans le vulgaire, dont il frappait l'imagination.

Herschel n'était ni destiné ni préparé par sa position à embrasser la carrière des travaux astronomiques : c'était un simple musicien. Un télescope lui tomba par hasard entre les

mains. Ravi des merveilles que les cieux offraient à sa vue, grâce à cet instrument d'optique, il s'éprit d'un grand enthousiasme pour les observations célestes. Comme le télescope dont il se servait n'avait qu'une faible puissance de grossissement, il essaya de se procurer un télescope de plus grandes dimensions. Mais le prix du nouvel instrument était trop élevé pour la bourse d'un simple amateur. Cependant Herschel ne perd

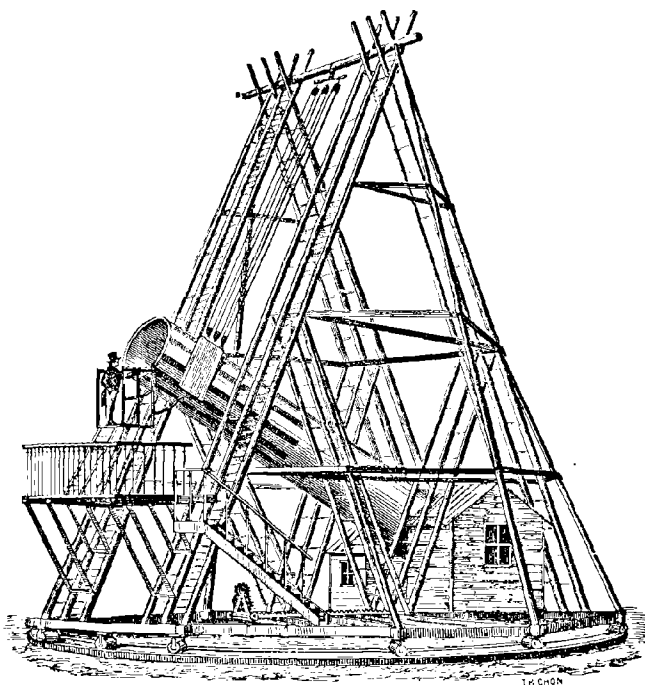


Fig. 110. Le grand télescope de William Herschel.

point courage : l'instrument qu'il ne peut acheter, il le construira lui-même. Le voilà donc devenu mathématicien, ouvrier, opticien ! En 1781, il avait façonné plus de quatre cents miroirs réflecteurs pour les télescopes.

Le grand télescope d'Herschel consistait (fig. 110) en un miroir métallique placé au fond d'un large tube de cuivre ou de bois légèrement incliné, de manière à projeter l'image très amplifiée et très lumineuse de l'astre au bord de l'orifice du tube, où il l'examinait à l'aide d'une simple lentille bi-con-

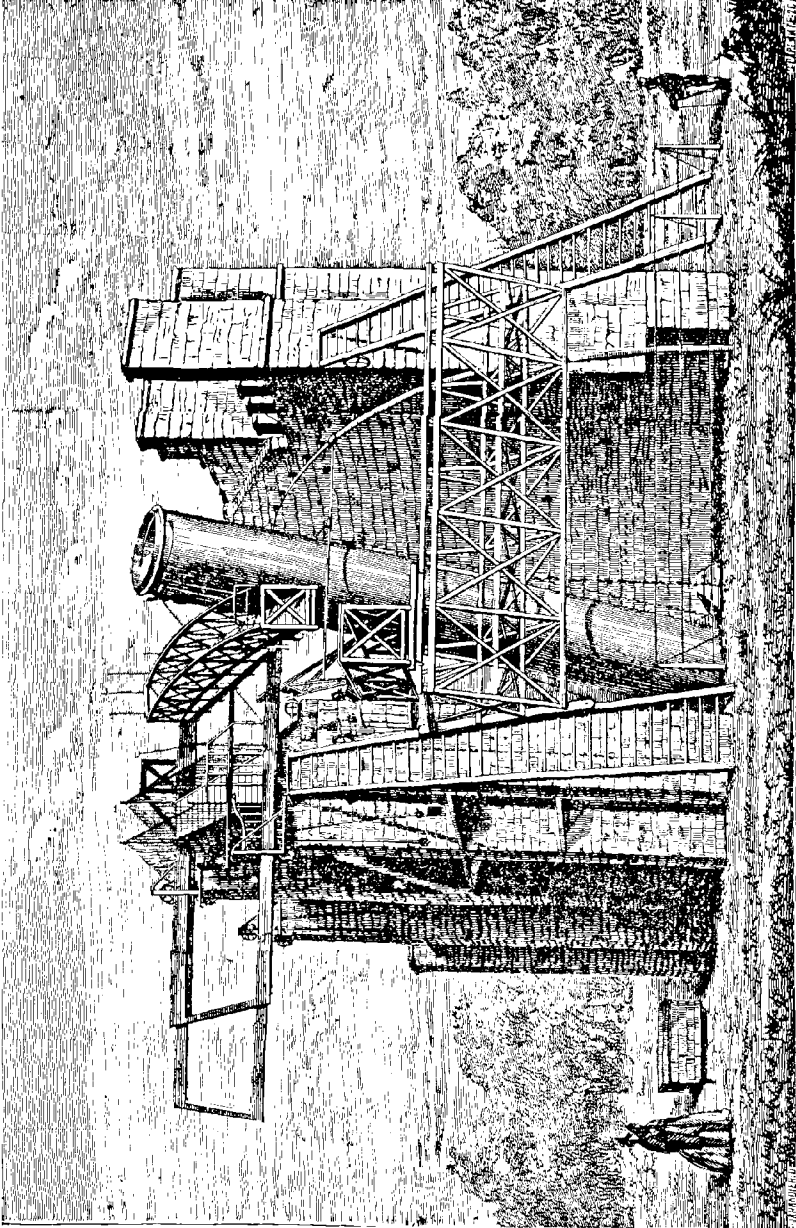


Fig. 111. Le grand télescope de lord Rosse.

vexe, ou *loupe*, c'est-à-dire en supprimant le second miroir employé par Gregory, qui amène nécessairement une perte par cette seconde réflexion sur le petit miroir.

Le plus grand télescope dont Herschel se soit servi était formé d'un miroir de 1^m,47 de diamètre. Le tuyau avait 12 mètres de long, et l'observateur se plaçait à son extrémité pour regarder l'image au moyen d'une lentille bi-convexe. Le grossissement pouvait s'élever jusqu'à six mille fois le diamètre du corps observé.

Afin de donner au télescope l'inclinaison convenable pour chaque observation, Herschel avait fait établir l'immense appareil de mâts, de cordages et de poulies que représente la figure 110.

Cette énorme construction reposait sur des roulettes et sur un rail circulaire. Pour l'orienter on la faisait mouvoir tout d'une pièce à l'aide d'un treuil. L'observateur se plaçait sur une plate-forme suspendue à l'orifice du tube, à peu près comme les fauteuils accrochés à ces balançoires qui ont la forme de vastes roues et qu'on voit fonctionner aux Champs-Élysées, à Paris. Du reste, Herschel ne se servit que rarement de ce gigantesque télescope. Il n'y a guère que cent heures dans l'année pendant lesquelles, sous le ciel brumeux de l'Angleterre, l'air soit assez limpide pour pouvoir employer cet instrument.

De nos jours, lord Rosse, en Angleterre, a construit un télescope encore plus puissant et plus énorme que celui d'Herschel. Le miroir du télescope de lord Rosse pèse 3809 kilogrammes et le tube 6604 kilogrammes.

La figure 111 représente le grand télescope de lord Rosse, installé dans le parc de Passontown, en Irlande. Le miroir métallique a 1 mètre 83 de diamètre et environ 15 mètres de distance focale. Le miroir seul pèse 4000 kilogrammes. Ce télescope donne des grossissements de 6000 fois le diamètre de l'objet stellaire considéré.

Depuis les premières années de notre siècle jusqu'à nos jours, on avait abandonné en France l'usage du télescope, comme moyen d'observation céleste. On ne se servait communément, pour observer le ciel, que des instruments à réfraction, c'est-à-dire des lunettes astronomiques. Mais de nos

jours un perfectionnement apporté par Léon Foucault à la construction des miroirs réfléchissants est venu remettre en faveur le télescope à réflexion.

Au miroir en argent employé pour former le réflecteur, dans le télescope de Gregory ou d'Herschel, Léon Foucault substitua un miroir en verre, que l'on recouvre ensuite d'une couche d'argent métallique.

Pour construire ce réflecteur, on prend une masse de verre coulée en forme de bassin concave, et on donne à ce verre, en le travaillant avec la poudre d'émeri, le degré de courbure nécessaire à la réflexion de tous les rayons lumineux qui ont pénétré dans l'axe du tube. Quand la surface du verre est ainsi taillée et bien polie, on l'argente par un procédé chimique, qui consiste à faire un mélange d'azotate d'argent et d'une huile volatile, et à chauffer ce mélange. Le sel d'argent est réduit par la matière organique et l'argent métallique se dépose sur le verre, avec tout son éclat. On a donc ainsi, à peu de frais, une surface d'argent d'une grande puissance de réflexion.

Léon Foucault a recommandé de donner au miroir une forme parabolique, au lieu de la forme sphérique. Il paraît que la puissance de réflexion de la surface argentée est ainsi notablement accrue.

Pour le reste de la disposition, le télescope de Foucault est semblable au télescope de Gregory. Le réflecteur est placé au fond d'un tube de bois, et on regarde l'image au moyen d'une lentille placée sur le côté de l'instrument.

La figure 112 représente le grand télescope de Foucault qui existe à l'Observatoire de Marseille. Cet instrument a 5 mètres de longueur focale, et l'ouverture du tube est de 80 centimètres. Il est porté sur un bâti de bois qui est pourvu d'un mouvement d'horlogerie fonctionnant de telle manière que toute la masse de l'instrument se meuve avec la même vitesse et dans le même sens que l'astre qu'il s'agit d'observer.

Un télescope de Foucault présentant la même disposition que celui de Marseille, mais de dimensions plus considérables encore, a été établi, en 1875, par Le Verrier, à l'Observatoire de Paris.

XI

LE MICROSCOPE

Le microscope simple. — Le microscope composé. — Historique. — Théorie du microscope composé. — Applications du microscope. — Aspect que présentent au microscope diverses substances organisées, fécule, tissus, organes d'animaux, etc. — Le microscope solaire et son emploi.

L'intelligence de l'homme ne s'exerce pas seulement sur les corps infiniment grands ; elle cherche encore à connaître les infiniment petits, ces êtres mystérieux qui, dans l'harmonie de la création, suppléent à leur petitesse par leur nombre. Ce monde nouveau, dont les anciens n'ont eu aucune connaissance, fut révélé par la découverte du *microscope*.

On appelle *microscope* l'instrument qui sert à amplifier considérablement les objets trop petits pour être aperçus à la vue simple.

Il importe de distinguer le *microscope simple* et le *microscope composé*, car ces deux instruments, quoique concourant au même but, diffèrent beaucoup, tant par leurs dispositions que par l'époque de leur découverte.

Microscope simple. — Le microscope simple, vulgairement désigné sous le nom de *loupe*, n'est autre chose qu'une lentille bi-convexe. Placée très près de l'œil de l'observateur, cette lentille grossit l'objet que l'on considère à travers son épaisseur, d'après le mécanisme physique que nous avons suffisamment exposé en parlant des lentilles (p. 148, fig. 98). Nous n'avons donc rien à ajouter ici pour expliquer l'effet du grossissement du microscope simple.

On reconnut de très bonne heure le phénomène de grossissement que produisent les corps translucides terminés par des surfaces sphériques. Les ampoules de verre, les globes pleins d'eau et d'autres substances diaphanes et réfringentes, étaient en usage chez les anciens, pour grossir l'écriture et pour graver les camées. Au quatorzième siècle, on employa des loupes, ou verres taillés en forme sphérique, pour les travaux de certaines professions, telles que l'horlogerie, la gravure, etc. C'est avec ces verres taillés que furent construits les premiers microscopes simples qui servirent aux travaux des anatomistes Leuwenhoeck, Swammerdam et Lyonnet.

La loupe (fig. 113 et 114) sert aujourd'hui aux naturalistes



Fig. 113.
Observation à la loupe.

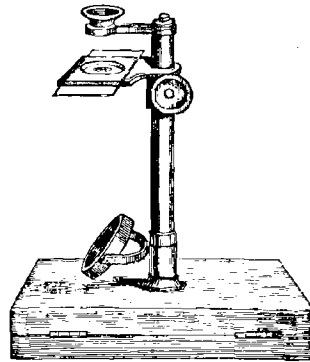


Fig. 114.
Loupe montée, ou microscope simple.

pour observer, avec un faible grossissement, différentes parties du corps des animaux ou des plantes. Les minéralogistes, les physiciens, les chimistes, l'emploient pour reconnaître la forme des cristaux trop petits pour être discernés à la vue simple.

On a donné pendant quelque temps le nom de *microscope de Raspail* à une loupe, ou lentille, que l'on avait assujettie à une tige, munie elle-même d'un *porte-objet*, qui pouvait se fixer à différentes hauteurs sur cette tige, à l'aide d'une vis. Ce n'était autre chose que le microscope simple dont s'étaient servis, comme nous venons de le dire, les premiers observateurs, tels que Leuwenhoeck et Swammerdam.

Les opticiens réunissent quelquefois sur un même axe trois loupes, chacune d'un grossissement différent, et que l'on peut

retirer à volonté de la tige qui les supporte. On a alors le choix entre trois grossissements différents.

La figure 115 représente cette loupe formée de trois lentilles, qui peuvent fonctionner ensemble ou séparément.

Le microscope simple, quels que soient sa puissance de réfraction de la lentille et son degré de courbure, ne peut amplifier des objets au delà de cinquante fois leur diamètre.

Microscope composé. — Le microscope composé est formé de la réunion de deux lentilles de dimensions inégales; la plus petite est l'objectif, la plus grande l'oculaire.

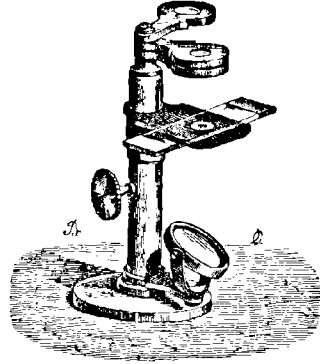


Fig. 115. Loupe composée.

Le premier microscope composé, c'est-à-dire formé de la réunion de deux lentilles, fut construit, en 1590, par le Hollandais Zacharie Zanz, ou Jansen. D'autres en font honneur à Cornelius Drebbel (1572), savant hollandais, auquel on attribue également l'invention du thermomètre.

Le microscope que Zacharie Jansen présenta en 1590, à Charles-Albert, archiduc d'Autriche, avait deux mètres de long : il était donc d'un usage fort peu commode. Cet instrument fut perfectionné depuis par Galilée en Italie, et par Robert Hooke en Angleterre. Mais pour obtenir des grossissements considérables, il fallait employer des lentilles très puissantes, c'est-à-dire réfractant fortement la lumière.

Quand les physiciens voulurent amplifier les objets plus de 150 ou 200 fois en diamètre, ils furent arrêtés par un obstacle qui parut insurmontable, et qui retarda les progrès de la science pendant plus de deux siècles. Essayons de faire comprendre la nature de cet obstacle.

En même temps que la lumière se réfracte en passant d'un milieu dans un autre, en passant, par exemple, de l'air dans le verre, elle subit une modification encore plus profonde : elle se décompose en plusieurs espèces de rayons différemment colorés.

Dans la lumière blanche, ou lumière ordinaire, il y a

sept couleurs : le violet, l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge.

Tout le monde a vu ces couleurs lorsque, après la pluie, l'arc-en-ciel jette comme un pont irisé d'un bout à l'autre de l'horizon céleste. On les voit encore sur nos tables, quand la lumière, en les traversant, colore de mille couleurs brillantes et variées nos vases de cristal. C'est enfin cette même décomposition de la lumière qui fait ressembler à des diamants les gouttes d'eau que la rosée du matin a suspendues sur l'herbe des prairies.

Par suite de cette décomposition de la lumière, plus les microscopes étaient puissants, c'est-à-dire formés de plus fortes lentilles, plus les images produites à travers le verre de ces lentilles étaient colorées et confuses. Newton considéra comme impossible d'obtenir des images nettes et non colorées. Selon lui, les lentilles qui ne donneraient pas d'images irisées étaient impossibles à créer, parce que la puissance réfléchissante d'un milieu était proportionnelle à la puissance de réfraction du même milieu.

Cependant, en 1757, un opticien de Londres, Dollond, ayant répété les expériences de Newton, reconnut que ce physicien avait considéré à tort le pouvoir réflecteur comme proportionnel au pouvoir réfringent, et il réussit à construire des lentilles *achromatiques*, c'est-à-dire sans couleur (de α privatif, et $\chi\rho\omega\nu\alpha$, couleur). Il parvint à ce résultat en juxtaposant deux lentilles, l'une bi-convexe en crown-glass, l'autre concave-convexe en flint-glass. Mais ce n'est que dans notre siècle, c'est-à-dire en 1824, que ces lentilles, appliquées depuis longtemps à d'autres instruments d'optique, furent utilisées dans la construction du microscope par M. Selligues. Dès lors, le pouvoir amplificateur du microscope alla rapidement en augmentant. On a fini par atteindre un grossissement de 1200 diamètres.

Il nous reste à expliquer le mécanisme physique au moyen duquel on parvient, avec deux morceaux de cristal convenablement taillés, à découvrir aux yeux émerveillés de l'observateur tout un monde inconnu, et à dévoiler ainsi à l'homme une page admirable du livre de la création que ses sens lui dérobaient et qu'il a conquis par son génie.

Le microscope composé renferme un oculaire et un objectif, formés, chacun, d'une lentille bi-convexe, comme la lunette astronomique. C'est une sorte de lunette astronomique, car il est aisé de comprendre que, puisqu'il s'agit, avec le microscope, d'amplifier les objets très petits, un mécanisme physique analogue à celui de la lunette astronomique doit permettre d'obtenir ce résultat.

Dans le microscope, l'objet, AB, qu'il s'agit de grossir (fig. 116)

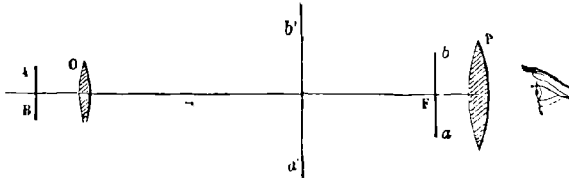


Fig. 116. Théorie géométrique du microscope composé.

étant très près de l'objectif, O, une image *amplifiée* *ab* va se former, par l'effet grossissant de la lentille bi-convexe O, de l'autre côté de l'objectif. Ensuite l'oculaire P, jouant, comme dans la lunette astronomique, le rôle de loupe, on obtient, en avant de la première image *ab*, une nouvelle image *a'b'*, considérablement amplifiée. C'est ainsi que l'on peut examiner dans leurs moindres détails les objets que leur dimension excessivement faible empêchait de discerner à la vue simple.

Un microscope est donc un instrument au moyen duquel on regarde à travers une loupe, non pas un objet, mais l'image de cet objet déjà amplifiée par une lentille bi-convexe.

Dans la figure 117, qui représente le modèle aujourd'hui le plus en usage du microscope composé, on voit en I l'oculaire, et en C l'objectif. B est le porte-objet; A est une vis avec laquelle on fait mouvoir un miroir D, qui éclaire, par la réflexion de la lumière que l'on fait tomber à sa surface, l'objet qu'on doit observer par transparence. E est le bouton d'une crémaillère manœuvrée par l'observateur, et qui sert à mettre l'image au foyer de son œil.

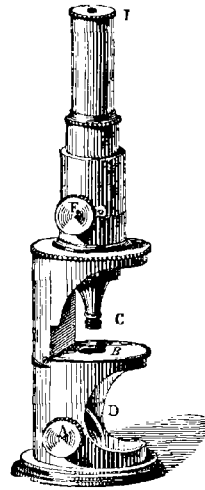


Fig. 117.
Microscope composé.

Voici le jeu physique des principaux organes de ce merveilleux appareil. La figure 118 donne une coupe de l'intérieur du microscope dont la figure 117 donnait l'aspect extérieur.

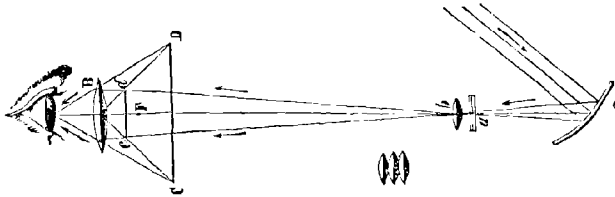


Fig. 118. Théorie du microscope composé.

L'objet à observer est placé en *a*, c'est-à-dire sur ce que nous avons appelé le *porte-objet* (B de la figure 117). Un miroir réflecteur, *e*, envoie une grande quantité de lumière, à travers l'objet à observer *a*.

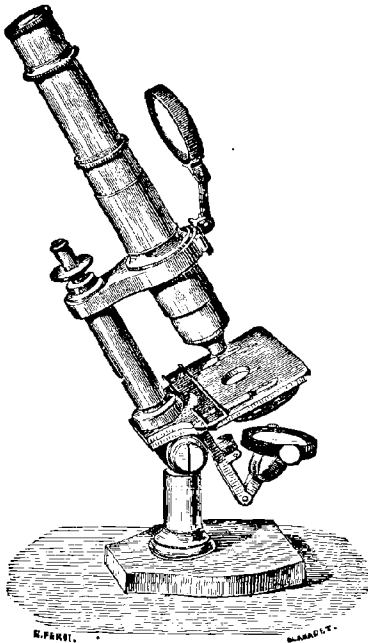


Fig. 119. Microscope d'études.

La lentille de l'objectif *b* du microscope agrandit considérablement l'objet placé en *a*, et porte l'image agrandie en *c d*; cette image est renversée. C'est alors que l'oculaire B, formé d'une lentille bi-convexe, agrandit cette image sans la redresser, et donne en C D une image considérablement agrandie, que l'œil aperçoit.

C'est donc l'objectif qui détermine le degré du grossissement. Aussi les observateurs ont-ils quatre ou cinq objectifs différents de courbure, pour faire varier à volonté le grossissement.

Un microscope ordinaire grossit 500 fois en diamètre, mais on peut porter le grossissement jusqu'à 1800 diamètres. Or grossir un objet 1000 fois en diamètre, c'est amplifier sa surface 3,260,000 fois. Aussi les objets amplifiés dans

cette proportion perdent-ils beaucoup de leur clarté et de la netteté de leurs contours ; de sorte qu'on n'observe guère qu'à un grossissement de 500 diamètres.

Les constructeurs varient de beaucoup de manières la disposition du microscope composé. Nous représentons ici dans la figure 119 la forme la plus généralement employée pour les études micrographiques.

Appliqué à une foule d'objets de la nature, le microscope charme les yeux, étonne notre esprit, ravit notre imagination, devant les merveilles d'organisation qu'il nous révèle au sein des corps organisés. Un fragment de l'herbe de nos prairies, l'œil imperceptible d'un insecte, soumis à l'action de cet admirable instrument, nous découvrent un monde nouveau où s'agitent l'activité et la vie. Une goutte d'eau empruntée à un ruisseau chargé de quelques immondices végétales, une matière organique en voie de décomposition, laissent apparaître, si on les observe au microscope, des myriades d'êtres vivants, d'animaux ayant chacun une organisation parfaite, et accomplissant leurs fonctions physiologiques comme les grandes espèces que nous connaissons. La révélation de ce monde invisible, dont les anciens n'ont eu aucune connaissance, est pour les générations modernes un motif de plus d'admirer les merveilles de la nature et la toute-puissance du Créateur.

Dans les sciences proprement dites, les applications du microscope sont nombreuses. Les chimistes emploient cet instrument pour étudier les formes régulières des cristaux des sels. Entre les mains du médecin, il sert à faire reconnaître diverses maladies par la seule inspection des liquides animaux : le sang, le lait, l'urine, le mucus, la salive. Il sert encore à mettre en évidence les falsifications nombreuses auxquelles sont soumis le fil, la soie, la laine, etc., ainsi que



Fig. 120.
Observation au microscope.

les matières alimentaires, telles que l'amidon et les farines. Il sert enfin à mesurer les corps les plus ténus. On a pu, de cette manière, reconnaître que la dimension des globules du sang n'est que de $\frac{1}{132}$ de millimètre de diamètre.

Nos lecteurs apprendront sans doute avec une vive surprise que, grâce à certaines machines à diviser, on a pu exécuter, dans le faible intervalle que mesure un millimètre, jusqu'à mille divisions. Quand on regarde au microscope un millimètre ainsi divisé en mille parties égales, on aperçoit très nettement chacune de ces divisions. N'est-ce pas là un admirable résultat et un magnifique témoignage de la perfection des procédés de la science actuelle ?

Nous mettons sous les yeux du lecteur l'aspect que présentent vues au microscope différentes substances qui sont d'un grand usage et dont cet instrument permet de constater la pureté.

Nous commencerons par le lait. La figure 121 montre une

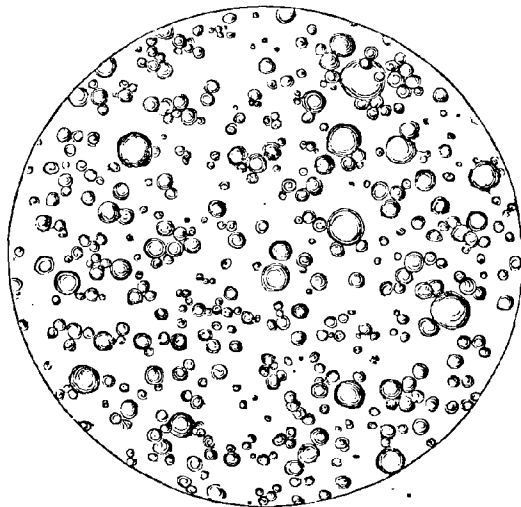


Fig. 121. Lait vu au microscope.

goutte de lait vue au microscope. Les globules de différentes grosseurs et qui sont d'un blanc très brillant sont les globules de la matière grasse du lait, c'est-à-dire le beurre. Plus le lait est pur, plus les globules du beurre sont nombreux et brillants.

Le microscope permet de différencier entre elles les farines

alimentaires. Voici d'abord (fig. 122) l'aspect que présente au microscope la farine de blé délayée dans un peu d'eau.

Les petites ampoules ou petits sacs ovoïdes sont les grains d'amidon.

La figure 123 représente la farine de seigle. Les grains d'amidon ont été brisés par la meule parce qu'ils sont trop gros pour passer tout entiers entre les meules. Ils se brisent : de là l'étoilement que l'on remarque sur les plus gros.

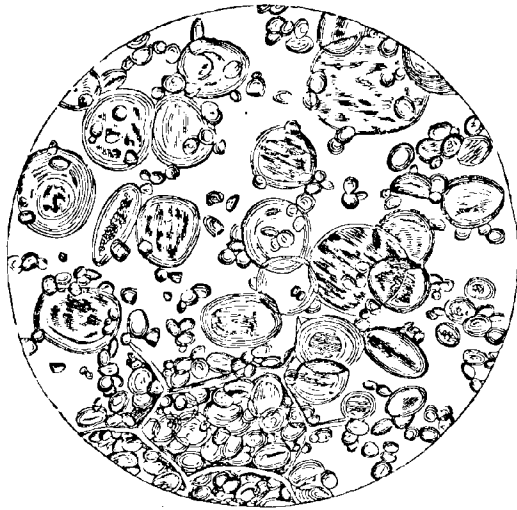


Fig. 122. Farine de blé vue au microscope.

Les féculés de diverses provenances sont très reconnaissables au microscope. Telle est, par exemple (fig. 124), la fécule de pomme de terre.

La figure 125 représente la fécule d'*arrow-root*, fécule très recherchée pour ses qualités hygiéniques, et qui est obtenue, aux colonies et dans l'Inde, en râpant les tiges souterraines du *Maranta arundinacea*.

Le microscope est le meilleur guide pour reconnaître le mélange des différentes fibres dans un tissu. Il est donc important de savoir quel est l'aspect des principales matières textiles quand on les regarde à un fort grossissement.

Commençons par la soie, la plus précieuse des matières consacrées à la fabrication des tissus.

La soie est un fil qui sort de la bouche du ver à soie, en



Fig. 123. Farine de seigle vue au microscope.

deux brins solides continus et agglomérés l'un à l'autre. C'est

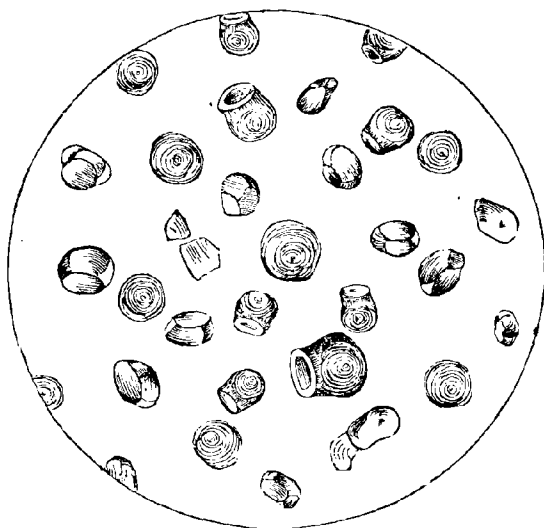


Fig. 124. Fécule de pomme de terre vue au microscope.

ce que l'on reconnaît dans la figure 126, qui représente un fil de

cocon de ver à soie vu au microscope à un fort grossissement.

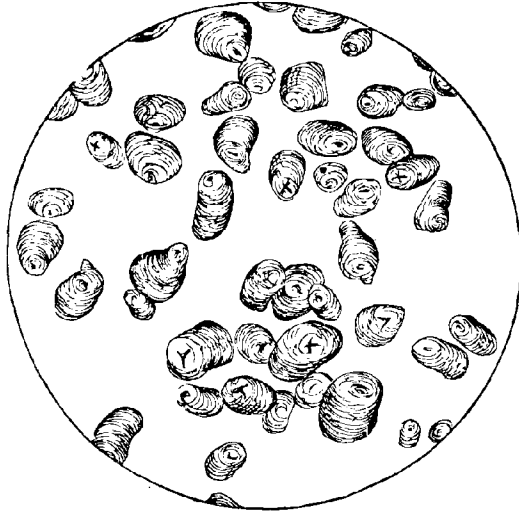


Fig. 125. Fécule d'arrow-root vue au microscope.

La laine se présente sous la forme que présente la figure 127.

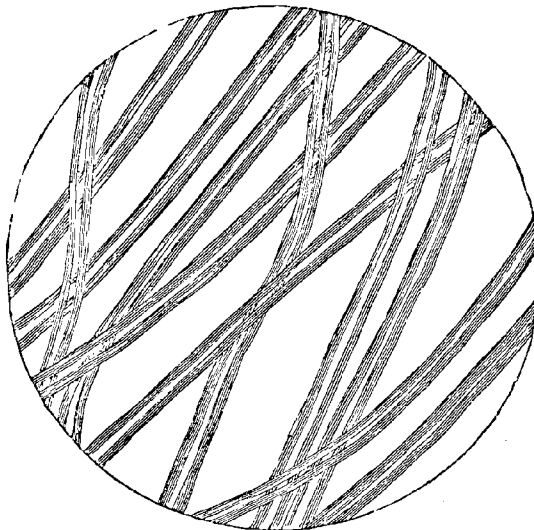


Fig. 126. Brin de soie vu au microscope.

Ce sont des brins dont le diamètre varie de $\frac{1}{40}$ à $\frac{1}{65}$ de millim.

Le fil de lin (*Linum usitatissimum*) se compose de brins mi-



Fig. 127. Brin de laine vu au microscope.

croscopiques composés de tubes cylindriques cloisonnés que

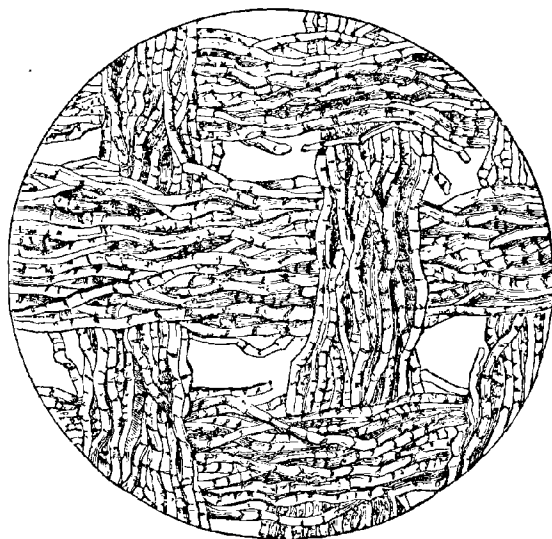


Fig. 128. Fil de lin vu au microscope.

l'on voit ici (fig. 128) avec le grossissement de 400 diamètres.

Le fil de chanvre ressemble au fil de lin, mais il est trois

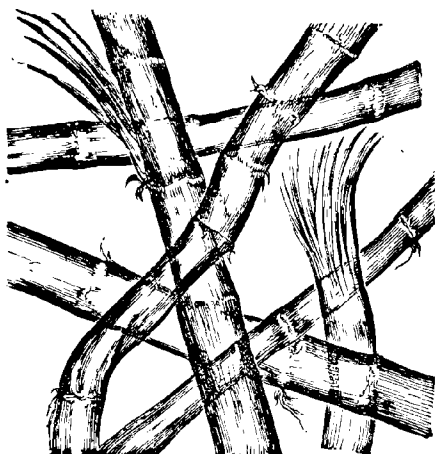


Fig. 129. Brin de chanvre vu au microscope.

fois plus gros en diamètre. Au lieu d'être cylindrique, il est presque quadrangulaire. C'est ce que l'on reconnaît en exa-

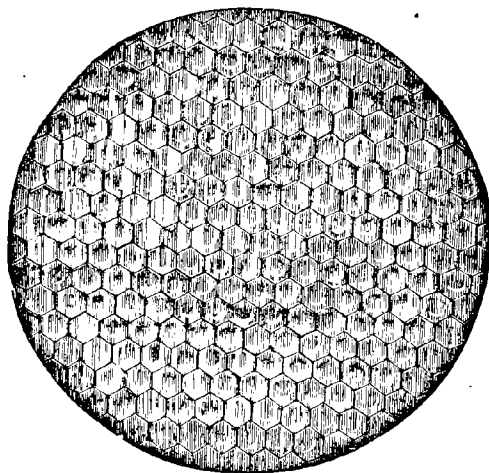


Fig. 130. Cristallin d'œil de mouche.

minant la figure 129, qui est dessinée au même grossissement que la précédente.

- Rien n'est curieux comme d'examiner au microscope les

différentes parties du corps des animaux. On ferait un volume à rassembler les particularités intéressantes que révèle le microscope appliqué à nous dévoiler les profondeurs de la structure du corps des animaux de tout ordre. Voici, par exemple, ce que l'on voit quand on examine au microscope le cristallin retiré de l'œil d'une mouche (fig. 130).

La patte de la



Fig. 131. Patte de mouche vue au microscope.

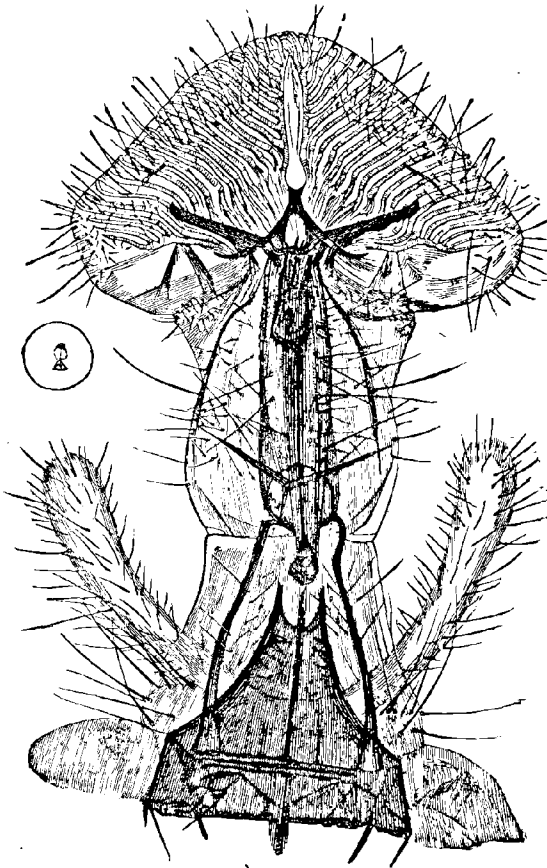


Fig. 132. Trompe de mouche vue au microscope.

mouche présente la structure mis en évidence par la figure 131.

Le dard, ou *trompe* du même insecte, présente la structure compliquée que nous montre la figure 132.

Nous bornons là ces curieuses reproductions des parties du corps des animaux examinées à un fort grossissement. Comme nous le disions plus haut, il faudrait un volume pour épuiser ces intéressantes exhibitions.

Les merveilleuses révélations du microscope ne sont per-

ceptibles que pour un observateur isolé. On a voulu faire apparaître à la fois à un grand nombre de personnes ces curieux et instructifs spectacles. On a voulu produire devant l'auditoire d'un cours, d'une classe, d'une conférence, les grossissements d'un objet par le microscope. Ainsi a pris naissance le *microscope solaire*, ou *microscope à projection*.

Le microscope solaire n'est autre chose qu'une lanterne magique dans laquelle le soleil remplace la lampe, comme source de lumière. En raison de son incomparable puissance lumineuse, le soleil permet d'augmenter infiniment le grossissement des objets, parce que, dans les conditions ordinaires, c'est le défaut d'éclairage qui empêche d'amplifier davantage un objet. Avec le soleil employé comme source lumineuse, c'est-à-dire avec le microscope solaire, on peut pousser le grossissement jusqu'à deux mille ou trois mille diamètres. Un cheveu paraît gros comme un bâton, une puce comme un mouton, et l'on peut faire voir les globules du sang circulant à l'intérieur des vaisseaux d'un animal.

Pour recevoir les rayons solaires et les envoyer sur l'objet

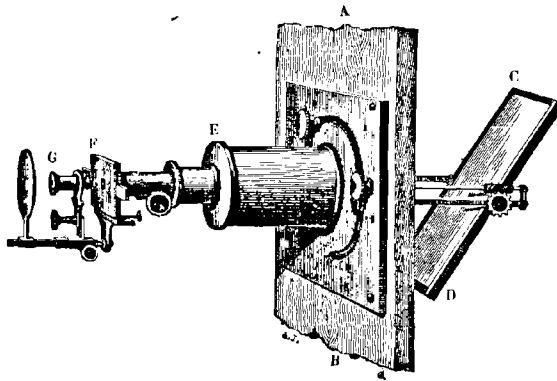


Fig. 133. Microscope solaire.

à éclairer, on perce dans le volet AB (fig. 133) d'une chambre, que l'on tient exactement fermée, un trou, destiné à correspondre à la lentille de verre placée dans le tube du microscope. A l'extérieur on installe un miroir plan, CD, sur lequel les rayons solaires tombent, et par réflexion pénètrent dans l'intérieur de la pièce obscure, au moyen d'un tube E, enchâssé dans cette ouverture. Dans le tube E, est une len-

tille convexe qui concentre la lumière du soleil sur l'objet à éclairer, qui est placé au foyer F de ces rayons, et par conséquent inondé de lumière. Par delà ce foyer, par delà l'objet par conséquent, est, au point indiqué par la lettre G , une seconde lentille, une lentille bi-convexe, qui amplifie considérablement l'image de l'objet, toutefois en la renversant. Si on place à quelques mètres de distance, sur le trajet des rayons lumineux qui produisent cette image amplifiée, un écran

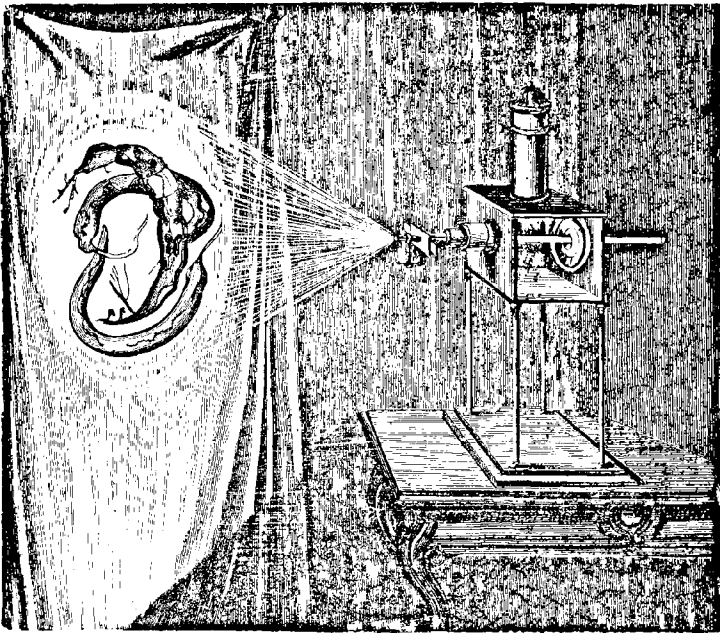


Fig. 134. Microscope solaire.

obscur, on reçoit l'image sur l'écran et on la rend visible à tout un auditoire. Selon que l'on recule ou que l'on approche cet écran, on amplifie ou l'on réduit la dimension de l'image.

La figure 134 représente le microscope solaire pourvu d'un écran sur lequel se projette l'image très amplifiée d'un objet naturel. On voit que cet appareil n'est autre chose, comme nous le disions, qu'une lanterne magique éclairée par le soleil.

Qu'est-ce, en effet, que la lanterne magique ? Un faisceau de rayons de soleil est reçu dans une chambre entièrement obscure, au moyen d'une mince ouverture circulaire

percée dans le volet de la fenêtre. Ce faisceau éclaire très vivement un objet étalé sur une lame de verre, et placé sur le passage des rayons d'une lampe qui brûle au fond de la boîte. Une lentille de verre, fixée dans le petit tube qui fait suite à l'objet, amplifie considérablement cet objet, lequel, ainsi agrandi, vient se projeter et se peindre sur un écran noir. Les dimensions de cette image augmentent à mesure que l'on recule cet écran, ou, ce qui revient au même, que l'on fait avancer ou reculer la lentille de la lanterne magique.

Pour mieux faire comprendre cette assimilation des deux instruments, nous mettons sous les yeux des lecteurs (fig. 135) la coupe de la lanterne magique. On voit, dans cette coupe, la

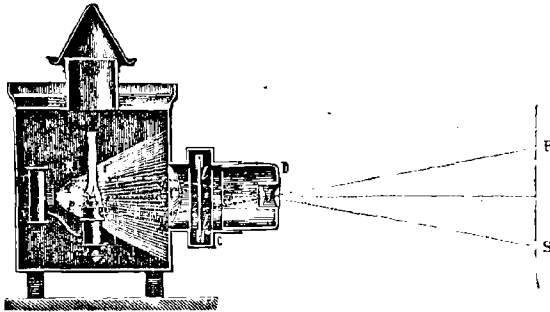


Fig. 135. Coupe verticale de la lanterne magique.

lumière de la lampe, R, se réfléchir sur une lame métallique de forme concave, *pq*. Cette lumière, se concentrant sur la lentille C, éclaire vivement l'objet placé sur une lame de verre *ll*. Une lentille convexe D amplifie l'image, et l'on reçoit sur l'écran RS l'image amplifiée. Au lieu de rendre l'écran mobile, on rend mobile, dans la lanterne magique, la lentille grossissante. A cet effet, le tube CD peut se mouvoir à l'intérieur de la lanterne, avancer et reculer selon la grandeur que l'on veut donner à l'image sur l'écran fixe, RS.

L'image obtenue dans le microscope solaire, comme dans la lanterne magique, offre un énorme développement, mais elle est indécise; et plus elle s'accroît en dimension, plus elle perd en netteté, comme il arrive pour les images de la lanterne magique.

On peut remplacer, dans le microscope solaire, la lumière du soleil par la lumière du gaz oxy-hydrique.

On peut également éclairer le même appareil par la lumière électrique. Cette dernière disposition est même la plus usitée, parce qu'on peut opérer à toute heure et en tout pays.

On appelle *microscope photo-électrique* la lanterne magique éclairée par la lumière électrique. La figure 136 représente le microscope photo-électrique.

Cet appareil est en tout semblable à celui qui vient d'être

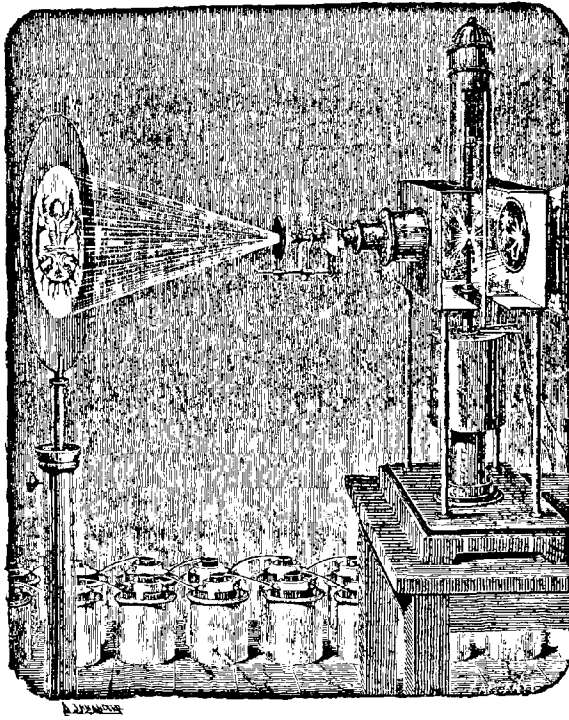


Fig. 136. Microscope photo-électrique.

décrit et représenté dans la figure 134. Seulement, la source lumineuse est la lumière électrique. Fourni par la pile voltaïque, dont on voit douze éléments au bas de l'instrument, le courant électrique se décharge entre les deux pointes de charbon qui terminent les deux pôles de la pile et produit une lumière éblouissante. L'objet à grossir est ensuite amplifié par la lentille grossissante, et cette image amplifiée vient se peindre sur l'écran obscur.

Le microscope photo-électrique est en usage pour toutes les projections d'images dans les cours publics de physique et de chimie, ainsi que dans les conférences scientifiques, pour montrer à un nombreux auditoire le spectacle de beaux phénomènes naturels.



XII

LE BAROMÈTRE

Principe du baromètre : la pesanteur de l'air. — Conséquence de la pesanteur de l'air. — Histoire de la découverte de la pesanteur de l'air et de la construction du baromètre. — Opinion de Galilée. — Torricelli découvre la cause de l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes. — Expériences de Pascal. — Construction du baromètre. — Baromètre à cuvette. — Baromètre à siphon. — Baromètre à cadran. — Baromètre anéroïde. — Usages du baromètre.

L'air est un gaz incolore et invisible ; l'air est donc un corps ; et, tous les corps étant pesants, l'air est nécessairement doué de pesanteur.

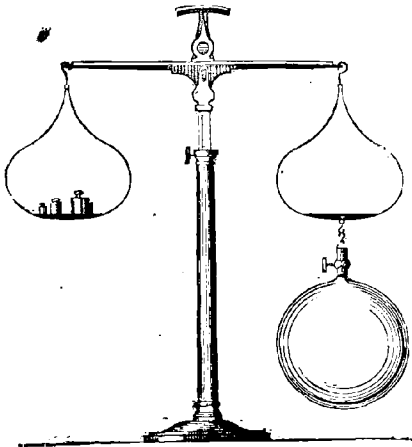


Fig. 137. Démonstration du fait de la pesanteur de l'air.

Ce que le raisonnement indique, l'expérience le démontre avec certitude.

Prenez, comme l'indique la figure 137, un vase de verre de forme sphérique, pourvu d'une garniture métallique et d'un robinet. Ce ballon étant plein d'air, par son séjour dans l'atmosphère, attachez-le, au moyen du crochet qui le surmonte, à un autre crochet fixé à

la partie inférieure du plateau d'une balance, et dans le pla-

teau opposé de cette balance placez des poids en suffisante quantité pour contre-balancer le poids du ballon plein d'air. L'équilibre de la balance étant ainsi établi, détachez le ballon ; puis, au moyen de la machine connue dans les laboratoires de physique sous le nom de *machine pneumatique* et qui sert à faire le vide, aspirez l'air qu'il renferme. Fermez le robinet, de manière à empêcher l'air de rentrer dans son intérieur, et suspendez-le de nouveau, par son crochet, à la partie inférieure du plateau de la balance. Vous reconnaîtrez alors que l'équilibre qui existait quand le ballon est plein d'air, n'existe plus quand le ballon est vide d'air. Pour le rétablir, il faut ajouter un certain nombre de poids.

Ces poids, nécessaires pour rétablir l'équilibre détruit, représentent évidemment le poids de l'air enlevé de l'intérieur du ballon par la machine pneumatique. L'air est donc pesant.

On peut exécuter cette expérience d'une manière inverse et arriver à la même conclusion. Commencez par faire le vide dans le ballon, à l'aide de la machine pneumatique, fermez le robinet, pour empêcher la rentrée de l'air dans son intérieur ; attachez ce ballon vide d'air à la partie inférieure du plateau de la balance, et mettez celle-ci en équilibre au moyen de poids convenables placés dans le plateau opposé. Cela fait, ouvrez le robinet du ballon de manière à laisser revenir dans son intérieur l'air du dehors. Vous verrez aussitôt l'équilibre de la balance se détruire ; le plateau qui contient le ballon avec sa charge d'air, descendra, n'étant plus tenu en équilibre par les poids de l'autre plateau, et il faudra, pour rétablir l'équilibre, ajouter de nouveaux poids dans le plateau opposé à celui du ballon.

Si la capacité de ce ballon est exactement d'un litre, le poids nécessaire pour rétablir l'équilibre sera d'un gramme trois décigrammes ; si la capacité est de dix litres, le poids à ajouter sera de treize grammes. Donc l'air est pesant : il pèse un gramme trois décigrammes par litre.

Puisque l'air est pesant, il exerce sur tous les corps placés à la surface de la terre une certaine pression. Le sol, les eaux, et, en général, tous les corps, se trouvent pressés uniformément par la masse d'air qui repose sur eux. Si l'on prend une cloche pleine d'air, et qu'on la place sur la surface de

l'eau contenue dans une cuve (fig. 138), l'air enfermé dans l'intérieur de cette cloche presse l'eau couverte par la cloche,

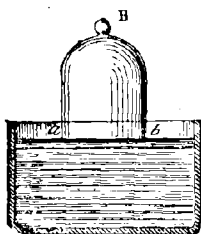


Fig. 138. Égalité de pression de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur d'une cloche de verre.

et les autres parties du liquide non recouvertes sont soumises à la même pression : le niveau *ab* est le même à l'intérieur et à l'extérieur de la cloche. Mais si, par un artifice quelconque, on vient à supprimer l'air qui existe à l'intérieur de la cloche ; si, par exemple, on épuise l'air de cette cloche par la succion, ou mieux au moyen d'une machine pneumatique (ce que l'on peut faire aisément en adaptant à une ouverture placée à la partie supérieure B, de la cloche, un tuyau qui communique avec la machine pneumatique), l'air étant chassé de l'intérieur de cette cloche, aucune pression ne s'exercera plus sur la partie de l'eau qu'elle recouvre. Mais comme l'air extérieur comprime toujours le liquide placé hors de la cloche, et comme la pression qu'il exerce se transmet au liquide dans tous les sens, il forcera l'eau de la cuve à s'élever dans l'intérieur de la cloche, puisque nulle résistance ne s'oppose à cette ascension, et à l'intérieur de la cloche l'eau s'élèvera au-dessus du niveau *ab*.

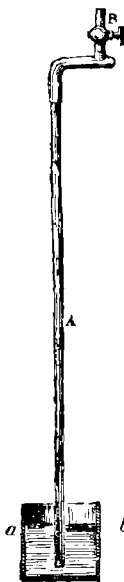


Fig. 139. Principe du baromètre.

Si l'on remplace l'eau, dans l'expérience précédente, par un liquide plus pesant, le mercure par exemple, et qu'au lieu d'une cloche de verre on prenne un tube de verre, A (fig. 139), long d'un mètre, ouvert à l'une de ses extrémités, et fermé à l'autre extrémité, B, par un robinet assujéti dans une monture de cuivre, l'expérience donnera le même résultat. Le robinet, B, étant d'abord ouvert, de manière à laisser à l'air atmosphérique un libre accès à l'intérieur du tube, le mercure se maintiendra au même niveau *ab*, à l'intérieur et à l'extérieur du tube, parce que la pression exercée sur le liquide par l'air contenu à l'intérieur du tube est la même que celle qui presse, à l'extérieur, la surface du reste du mercure.

Mais si, à l'aide d'un tuyau flexible adapté au robinet B qui surmonte le tube de verre A, on met l'extrémité supérieure de ce tube de verre en communication avec une machine pneumatique, et que, faisant jouer cette machine, on épuise l'air contenu dans l'intérieur du tube A, cet air étant enlevé, aucune pression ne s'exerce plus à l'intérieur du tube ; et comme l'air extérieur continue de presser dans tous les sens la surface du mercure, il force, par cette pression, qui n'est contre-balancée par rien, le mercure à s'élever à l'intérieur du tube.

Dans ces conditions, le mercure s'élève et reste suspendu à une hauteur d'environ 76 centimètres en moyenne, parce que le poids de toute la colonne d'air atmosphérique est une force exactement suffisante pour faire équilibre à une colonne de mercure ayant la même base et une hauteur de 76 centimètres.

On peut donc dire que l'air exerce sur tous les corps placés à la surface de la terre une pression qui est exactement représentée par le poids d'une colonne de mercure ayant pour hauteur 76 centimètres et pour base la surface du corps considéré.

Le petit appareil que nous venons de décrire, c'est-à-dire le tube de verre reposant sur une cuvette contenant du mercure et dans lequel on peut faire le vide à l'aide de la machine pneumatique ou par un autre moyen, renferme tout le principe du baromètre, c'est-à-dire de l'instrument qui sert à traduire et à mesurer exactement la pression que l'air atmosphérique exerce à la surface de la terre et des eaux. Le baromètre n'est autre chose, en effet, qu'un tube de verre fermé à son extrémité supérieure, dont on a chassé l'air, et à l'intérieur duquel le mercure s'élève par l'action de la pression atmosphérique.

On verra plus loin comment, dans la pratique, on parvient, par le plus simple des moyens, à chasser l'air de l'intérieur du tube du baromètre. Nous nous contentons de poser ici le principe général sur lequel l'instrument est fondé.

Les anciens croyaient assez vaguement au phénomène de la pesanteur de l'air. Il était assez difficile de mettre ce fait en doute en présence des puissants résultats mécaniques produits par les mouvements de l'atmosphère. Les effets produits par le vent auraient suffi pour en établir l'évidence. Aristote admettait donc, avec les philosophes de son temps, le fait de la pesanteur de l'air, mais il n'allait pas plus loin,

et ne savait pas tirer de ce principe la plus légère déduction pour l'interprétation des phénomènes de la nature.

Pour expliquer le fait de l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes aspirantes, et cet autre fait, plus simple, que l'eau s'élève dans l'intérieur d'un tube ouvert à ses deux extrémités, quand on le plonge dans l'eau et qu'on aspire par l'extrémité opposée, les anciens admettaient le principe de l'*horreur du vide*. Si l'eau, disaient les savants de l'antiquité, s'élève à l'intérieur du tuyau d'une pompe aspirante, si elle monte dans un tube ouvert à ses bouts, plongeant dans l'eau par un de ses bouts, et à l'extrémité duquel on aspire l'air avec la bouche, c'est que la nature a *horreur de tout espace vide*. Quand le jeu de la pompe aspirante a soutiré l'air existant dans ce tuyau et produit ainsi le vide dans cette capacité; quand, par la succion, on a extrait l'air d'un tube plongeant dans l'eau, l'eau, disait-on, se précipite aussitôt à l'intérieur de ce tube, parce qu'il ne peut jamais exister sur la terre le moindre espace vide, en vertu de la répulsion de la nature pour le vide et de son affection pour le *plein*.

Ceci nous donne un exemple de la manière vicieuse dont les anciens, si remarquables pourtant dans le raisonnement des choses abstraites, envisageaient les phénomènes du monde physique, et des hypothèses erronées qu'ils mettaient en avant pour les expliquer.

La scolastique, c'est-à-dire la philosophie du moyen âge, continua de professer la maxime de l'*horreur du vide*, qui demeura en honneur jusqu'au milieu du dix-septième siècle.

Vers l'année 1630, des fontainiers avaient construit, dans le palais du grand-duc de Florence, des pompes, pour élever les eaux de l'Arno. L'eau ne put parvenir jusqu'à l'orifice d'écoulement : la hauteur de la colonne liquide élevée par le jeu des pompes était de plus de trente-deux pieds. Ce phénomène était, d'ailleurs, connu des ouvriers fontainiers, qui n'ignoraient point que l'eau ne peut s'élever au delà de trente-deux pieds dans le tuyau d'une pompe aspirante. Témoin de ce fait, et ayant cherché à l'expliquer, Galilée, malgré la profondeur de son génie, ne put s'affranchir des entraves de la théorie des anciens. N'osant rejeter la maxime de l'*horreur du vide*, il donna une explication presque aussi erronée de ce phénomène.

Torricelli, jeune mathématicien romain, élève de Galilée,

fut peu satisfait de l'explication, donnée par son maître, du phénomène de l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes. Il chercha et découvrit la véritable cause de ce phénomène. Il l'attribua, avec juste raison, à la pression de l'air, qui, agissant sur l'eau, la force à s'élever dans le tuyau plongeant, lorsque cet espace a été dépouillé de tout air par le jeu des soupapes et du piston de la pompe aspirante.

Pour confirmer la vérité de cette explication, Torricelli fit une expérience capitale, et qui devint l'origine de la construction du baromètre.

Le physicien romain pensa que, si la pression de l'air extérieur était réellement la cause de l'ascension de l'eau dans un tuyau vide d'air, la pression de l'air devrait élever un autre liquide que l'eau, et plus pesant que l'eau elle-même, à une hauteur moindre que l'eau. Le mercure étant quatorze fois plus pesant que l'eau, Torricelli en conclut que la pression de l'air extérieur soutiendrait le mercure dans un tube à une hauteur quatorze fois moindre, c'est-à-dire à vingt-huit pouces de hauteur seulement. Il prit donc un tube de verre de trente pouces de longueur, le remplit de mercure, et, le renversant dans un bain de mercure, comme le montre la figure 140, il retira le doigt. Il ne vit pas alors sans une vive satisfaction le mercure se maintenir, dans le tube ainsi disposé, à la hauteur exacte de vingt-huit pouces qu'indiquait sa théorie.

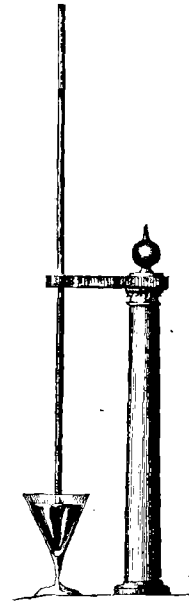


Fig. 140. Expérience de Torricelli.

Cette expérience ne pouvait laisser aucun doute : l'ascension de l'eau dans un tube vide à une hauteur de trente-deux pieds était bien due à la pression de l'air, puisque, avec un autre liquide, la hauteur de la colonne maintenue en l'air par la pression de l'atmosphère était en raison inverse de la densité de ce liquide.

L'immortel philosophe français, Blaise Pascal, eut la gloire de mettre tout à fait en évidence le grand phénomène de la pesanteur de l'air, de manifester à tous les yeux la pression que l'air exerce sur les liquides placés à la surface du globe,

et d'expliquer ainsi une foule de phénomènes naturels dont rien n'avait encore permis de découvrir la cause.



Fig. 141. Blaise Pascal.

Ayant eu connaissance, en 1646, de l'expérience de Torricelli, que nous venons de rapporter, Blaise Pascal la répéta à Rouen, avec un de ses amis, nommé Petit, intendant des fortifications de la ville.

Ayant varié et étendu cette expérience, Pascal commença à partager l'opinion de Torricelli. Cependant, comme il trouvait l'expérience de Torricelli trop indirecte comme preuve de la pesanteur de l'air, il con-

çut, par un trait de génie, le projet d'une autre expérience complètement décisive à cet égard.

« J'ai imaginé, écrivait Pascal, le 13 novembre 1647, à son beau-frère Périer, une expérience qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons, si elle peut être exécutée avec justesse. C'est de faire l'expérience ordinaire du vide plusieurs fois le même jour, dans le même tuyau, avec le même vif-argent, tantôt au bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de cinq à six cents toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà, sans doute, que cette expérience est décisive sur la question, et que, s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ai beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraires à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne que non pas sur le sommet; au lieu que l'on ne saurait dire que la nature abhorre le vide au pied de la montagne plus que sur le sommet ¹. »

1. *Œuvres de Blaise Pascal*, tome IV, page 346.

Le Puy-de-Dôme, montagne située à peu de distance de Clermont-Ferrand, en Auvergne, et haute de plus de 500 toises, fut choisi par Pascal pour vérifier le fait de la décroissance de la colonne de mercure dans le tube de Torricelli selon la hauteur des lieux.

Cet important essai exécuté le 20 septembre 1648, par le beau-frère de Pascal, Périer, donna le résultat prévu par le génie du philosophe français. Au bas du Puy-de-Dôme, la hauteur du mercure, dans le tube de Torricelli, était de vingt-six pouces trois lignes et demie (fig. 142) ; au sommet, cette hauteur n'était plus que de vingt-trois pouces deux lignes ; il y avait donc trois pouces une ligne et demie de différence entre les hauteurs du mercure au bas et au sommet de la montagne.

Cette magnifique expérience fut répétée bientôt après, à Paris, par Pascal lui-même, qui, ayant mesuré la hauteur du mercure dans le tube de Torricelli au bas et au sommet de la tour Saint-Jacques-la-Boucherie, haute alors de vingt-cinq toises, trouva une différence de plus de deux lignes entre ces deux mesures.

C'est pour rappeler le souvenir de cette expérience célèbre que la ville de Paris fit placer, en 1856, la statue de Blaise Pascal au bas de la tour Saint-Jacques-la-Boucherie, située sur le parcours de la rue de Rivoli.

Les expériences de Pascal établissaient avec une complète évidence le fait de la pression de l'air, et donnaient l'explication d'un grand nombre de phénomènes naturels : l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes, le jeu du siphon, celui du soufflet, de la seringue, le jeu des organes anatomiques de la respiration des animaux, etc.

Le tube de Torricelli, que Pascal avait employé dans ses immortelles expériences, fut conservé, à partir de cette époque et sans subir aucune modification dans sa forme, comme moyen de mesurer la pression de l'air atmosphérique. Cet instrument, qui porte aujourd'hui le nom de *baromètre*, ne diffère en rien, par son principe, de celui dont se sont servis Torricelli et Pascal.



On donne au baromètre deux dispositions différentes, qui ont été toutes deux employées par Pascal : on construit le

baromètre à cuvette et le *baromètre à siphon*. Ce dernier est d'un usage plus commode et d'un transport plus facile. Il y a enfin une troisième forme du baromètre, le *baromètre anéroïde* dont nous aurons à dire quelques mots.

Baromètre à cuvette. — Pour construire un baromètre à cuvette, on prend un tube de verre, d'environ 80 centimètres de longueur et de 5 à 6 millimètres de diamètre intérieur, fermé à l'une de ses extrémités. On le remplit à peu près à



Fig. 143.
Construction du baromètre à cuvette.

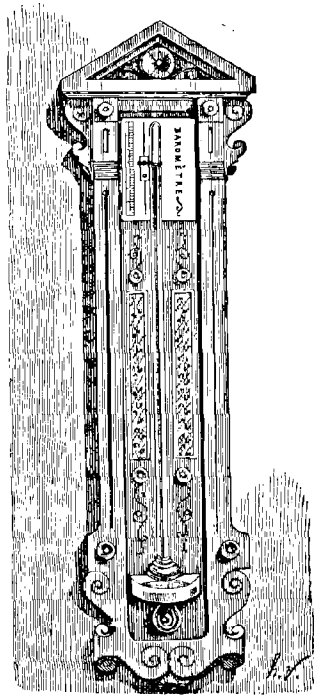


Fig. 144. Baromètre à cuvette.

moitié de mercure, et on place ce tube contenant le mercure sur une grille inclinée et chargée de charbons ardents. Le mercure entre en ébullition et les vapeurs du métal bouillant chassent la petite quantité d'air et d'humidité que peuvent contenir le tube de verre ou le métal. Quand le mercure s'est refroidi, on achève de remplir le tube de mercure, et on fait bouillir de nouveau cette seconde colonne, sans chauffer la partie qui a déjà bouilli. On chasse ainsi tout l'air et toute l'humidité adhérente au mercure ou aux parois du verre.

Le tube étant ainsi rempli de mercure, bien purgé d'air et d'humidité, on le renverse, l'ouverture en bas et en le tenant bouché au moyen du doigt, dans une cuvette pleine de mercure bien sec (fig. 143). L'air ayant été chassé du tube par le mercure qui le remplissait entièrement, le liquide redescend en partie dans ce tube et s'y maintient à une hauteur au-dessus de laquelle il n'existe plus d'air et qui est vide de tout corps : c'est le *vide barométrique*.

Le tube et la cuvette dans laquelle ce tube repose sont alors dressés contre une planchette de bois verticale, contenant une échelle divisée en millimètres, et destinée à indiquer très exactement la hauteur de la colonne liquide au-dessus du niveau du mercure de la cuvette (fig. 144). Cette hauteur représente et mesure la pression exercée par l'air atmosphérique, car telle est la seule fonction de cet appareil.

La hauteur de la colonne mercurielle, qui varie selon l'état de l'atmosphère, est, en moyenne, de 76 centimètres. Elle peut varier de 750 à 775 millimètres environ dans un même lieu et à une hauteur qui ne dépasse pas le niveau de la mer.

Baromètre à siphon. — Les indications du baromètre ne sont pas d'une exactitude absolue quand cet instrument présente la forme qui vient d'être décrite. En effet, lorsque, par l'augmentation de la pression de l'air, le mercure s'élève dans le tube, le niveau du mercure s'abaisse, d'une faible quantité, dans la cuvette. Par conséquent le zéro, ou le point de départ de l'échelle de mesure, n'est plus exact : il est au-dessus de la hauteur qu'il devrait occuper. Pour remédier à ce grave inconvénient, on donne au baromètre la forme dite à *siphon*, qui a été imaginée par Pascal.

Le *baromètre à siphon* est formé d'un tube de verre à deux branches recourbées et inégales : la plus courte est ouverte et reçoit la pression de l'air ; la plus longue est fermée, elle est d'une hauteur d'environ 30 centimètres.

Pour comprendre cette forme du baromètre, il faut se rappeler le principe de physique que l'on énonce en disant que, deux fluides de densité inégale étant placés dans deux vases communiquant librement entre eux, les hauteurs occupées par chacun de ces fluides dans chaque vase sont en raison inverse de la densité de ces fluides.

Le tube *bmac* peut être considéré comme un vase contenant deux fluides de densité différente : le mercure dans la branche la plus longue, et dans la plus petite l'air atmosphérique, c'est-à-dire la colonne d'air ayant pour base la surface *b* et pour hauteur la hauteur de l'atmosphère. Quand la densité, et par conséquent la pression de l'air, viendra à varier, la hau-



Fig. 145.
Principe du
baromètre à
siphon.

teur de la colonne de mercure dans la grande branche variera également et traduira ainsi la mesure de cette pression.

Tel est le principe du *baromètre à siphon*. La figure 146 représente ce baromètre, pourvu de son échelle métrique au sommet du tube.

Dans le *baromètre à siphon*, l'échelle disposée contre le tube de verre n'indique pas directement la pression atmosphérique; il faut prendre la hauteur *mc* (fig. 145) du mercure dans la plus grande branche, ainsi que la hauteur *mb* du mercure

dans la plus courte branche, et retrancher cette dernière quantité de la première : la différence des deux nombres représente la pression de l'air, évaluée en millimètres.

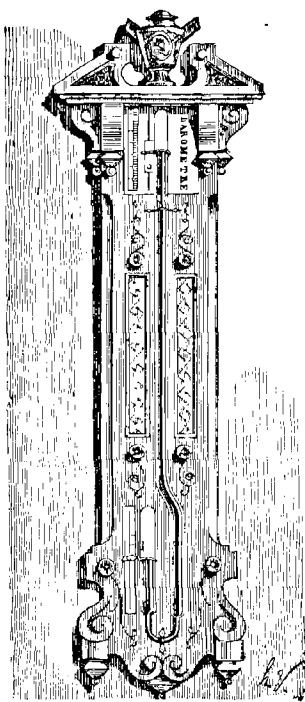


Fig. 146. Baromètre à siphon.

Le *baromètre à cadran*, imaginé par le physicien anglais Robert Hooke, dans la seconde moitié du dix-septième siècle, n'est autre chose qu'un baromètre à siphon disposé de manière à traduire à l'extérieur, au moyen d'une aiguille mobile sur un cadran, les mouvements du mercure correspondant aux variations de la pression de l'air. Sur le mercure de la courte branche flotte un cylindre de fer exactement équilibré par un poids; ce cylindre est attaché à un fil qui se replie sur une poulie. Selon que le mercure monte ou descend, la poulie tourne dans un sens ou dans un autre, et une

aiguille qui est attachée à cette poulie parcourt la circonférence d'un cadran gradué.

Pour faire comprendre le petit artifice sur lequel reposent les indications du *baromètre à cadran*, nous représentons sur la figure 147 ce baromètre vu par derrière, avec le flotteur de fer nageant sur le niveau et la poulie sur laquelle s'enroule le fil attaché au flotteur. La figure 148 montre le baromètre à

cadran tel qu'il est monté et installé, pour cacher le tube de verre et le petit mécanisme de l'instrument indicateur. L'aiguille seule est apparente au dehors, pour traduire les variations de la pression de l'air.

On admet généralement qu'un air très sec, une atmosphère très pure, c'est-à-dire le beau temps, ont pour résultat de faire élever la colonne barométrique, et que la pluie, ou un air chargé d'humidité, fait baisser le baromètre. On trouve ces indications sur les baromètres d'appartement. Ces relations sont assez souvent vraies, car un air chargé de vapeur

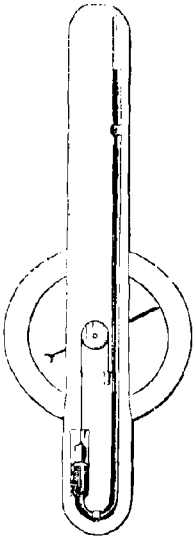


Fig. 147. Mécanisme du baromètre à cadran.

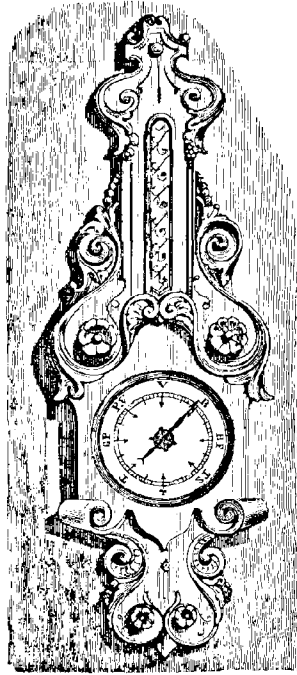


Fig. 148. Baromètre à cadran avec son aiguille.

d'eau diminue de densité, la vapeur d'eau étant plus légère que l'air¹, et par conséquent exerce moins de pression sur le mercure contenu dans le réservoir : dès lors le mercure redescend.

1. Nous avons déjà vu que 1 litre d'air pèse 1^{er},3; 1 litre de vapeur d'eau pèse seulement 0^{er},81; en d'autres termes, 1 représentant la densité ou le poids spécifique de l'air, 0,62 représente la densité ou le poids spécifique de la vapeur d'eau. La vapeur d'eau pèse donc près de moitié moins que l'air, à volume égal.

cepend en partie dans le tube. Cependant, comme une foule d'autres influences, et surtout les vents, font varier la colonne barométrique, ces indications sont souvent trompeuses.

Ce serait une erreur de penser que l'usage essentiel du baromètre réside dans son emploi pour connaître d'avance les variations du temps, c'est-à-dire le beau temps ou la pluie.

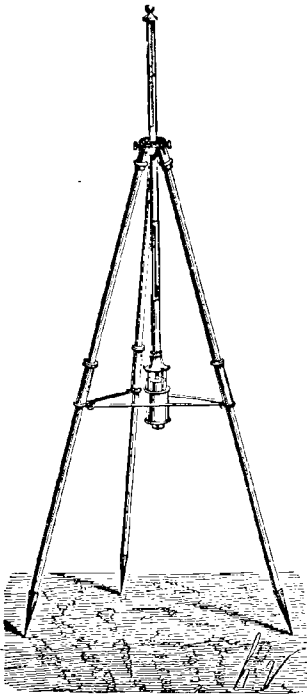


Fig. 149. Baromètre de Fortin, et son trépied.

Ce n'est là qu'une application de peu d'importance et qui n'a rien de bien scientifique. Le véritable usage du baromètre, c'est d'apprécier la pression, c'est-à-dire le poids de l'air, d'évaluer les modifications continuelles qui se produisent dans cette pression. Ces variations sont indispensables à connaître, tant pour les expériences des physiciens occupés à mesurer des gaz, que pour l'étude des phénomènes atmosphériques qui se passent sur notre globe.

Le baromètre sert encore à mesurer la hauteur des montagnes. En effet, plus on s'élève au-dessus de la terre, moins la colonne d'air dans laquelle on se trouve, exerce de pression, puisque sa masse a diminué. Dès lors, le baromètre qui traduit la pression de l'air, peut aussi servir à déterminer l'altitude des lieux. C'est

là un important usage de cet instrument.

Par les mêmes motifs, le baromètre sert à l'aéronaute, flottant dans les airs avec son ballon, à reconnaître la hauteur à laquelle il se trouve dans l'atmosphère. Quand le ballon s'élève, le mercure du baromètre baisse ; quand le ballon descend, le baromètre s'élève : en tenant les yeux fixés sur la colonne mercurielle, l'aéronaute est donc averti du sens vertical de son mouvement dans l'air, et même, grâce à des tables construites à cet effet, de la hauteur exacte qu'il occupe dans l'atmosphère.

Pour les observations barométriques à faire pendant les voyages, le constructeur Fortin a donné au baromètre à cuvette une disposition particulière, qui en rend le transport



Fig. 150. Une observation barométrique.

facile. On nomme *baromètre de Fortin*, le baromètre à cuvette modifié dans le but de rendre le déplacement plus facile.

Le tube de verre contenant le mercure est renfermé dans une gaine de laiton (fig. 149), qui laisse seulement apercevoir

à travers une fente pratiquée à sa partie supérieure, la colonne mercurielle. C'est là qu'est placée l'échelle servant à mesurer la hauteur de la colonne barométrique. L'instrument se renferme dans trois baguettes creuses, qui permettent de le transporter sans crainte de le briser. Ces baguettes creuses servent aussi de trépied, pour soutenir l'instrument quand on veut le mettre en observation (fig. 150).

Il nous reste à parler d'un troisième système de baromètre : le système *anéroïde*, c'est-à-dire sans air, de (α , privatif, et $\nu\eta\rho\acute{o}s$, humide).

Pour comprendre le principe de cet instrument, il faut se rappeler l'expérience que l'on fait dans les cours de physique, avec le petit appareil que l'on nomme *crève-vessie*. On recouvre un vase de verre ouvert par ses deux bouts d'un morceau de vessie tendue, qui empêche l'air d'y pénétrer, et l'on fixe solidement cette membrane aux parois du cylindre de verre avec plusieurs tours de fil. Ensuite, on place le vase, comme le montre la figure 151, sur le plateau de la machine pneumatique, et l'on fait le vide à l'intérieur de cette capacité. Quand l'air a été soustrait en partie au-dessous de la membrane, la pression de l'atmosphère extérieure qui pèse sur cette membrane, la fait éclater, et l'air rentre avec grand bruit dans le vase de verre.

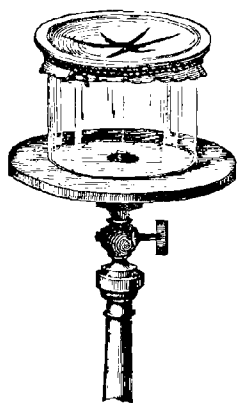


Fig. 151. Crève-vessie.

Cette expérience fera comprendre le principe sur lequel repose le baromètre anéroïde, qui fut inventé en 1860, par un simple avocat de Nantes, nommé Vidi.

On prépare une sorte de tambour, dont la face supérieure, ainsi que les autres parois, sont en métal, mais dont la face supérieure est d'une très faible épaisseur. On fait le vide dans ce tambour, et la face supérieure cède sous le poids de l'atmosphère extérieure. Le vide n'est que partiel et les parois latérales du tambour sont assez résistantes pour ne pas s'écarter sous le poids de l'air. Cette membrane métallique est tellement sensible à toutes les variations de la pesanteur

de l'air, qu'elle s'affaisse ou se relève selon l'augmentation ou la diminution de la pression atmosphérique. A l'aide d'une aiguille très longue, plusieurs fois contournée sur elle-même, et dont une extrémité est attachée au tambour, on amplifie les mouvements d'élévation ou d'abaissement du couvercle métallique, et l'extrémité de l'aiguille exprime ces mouvements de la membrane sur un cadran divisé.

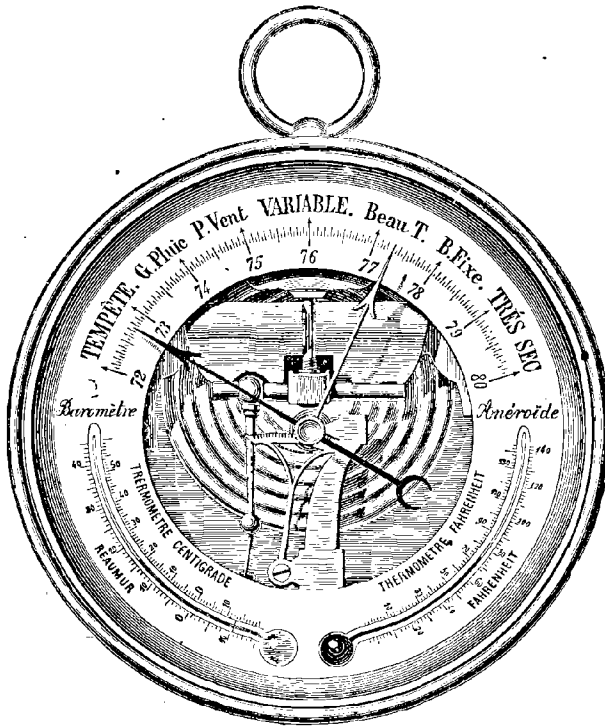


Fig. 152. Baromètre anéroïde.

Sur le cadran du *baromètre anéroïde* on trace habituellement les indications de beau temps, de tempête, etc., qui, dans l'opinion vulgaire, correspondent aux variations du baromètre, mais il ne faut accepter ces prédictions que sous les réserves mentionnées plus haut.

N'oublions pas d'ajouter que les degrés de l'échelle du baromètre anéroïde ont été réglés par comparaison avec ceux

d'un baromètre à cuvette, et non directement, comme on pourrait se l'imaginer.

Le baromètre anéroïde remplace le baromètre à cadran pour indiquer les variations de la pression de l'air. Il est plus léger, plus facile à transporter que le baromètre à cadran, et n'est pas sujet à se déranger. Mais à cela se bornent ses avantages et son utilité. Pour des observations scientifiques, il ne saurait remplacer le baromètre à cuvette ou à siphon.



XIII

LE THERMOMÈTRE

Cornelius Drebbel invente le thermomètre en 1631. — L'Académie *del Cimento* perfectionne le thermomètre de Drebbel. — Adoption des points fixes pour la graduation du thermomètre. — Thermomètre de Newton. — Thermomètre d'Amontons. — Thermomètre de Fahrenheit. — Thermomètre de Réaumur. — Thermomètre centigrade. — Manière de construire le thermomètre. — Sa graduation. — Thermomètre à mercure. — Thermomètre à alcool. — Thermomètre à air et thermomètre métallique.

Le thermomètre, ou l'instrument qui sert à mesurer les variations de la chaleur, est d'invention moderne, car les principes sur lesquels reposent sa construction et son usage appartiennent à la physique pure, science que les anciens ont complètement ignorée. C'est dans les premières années du dix-septième siècle, époque où s'accomplit la véritable création des sciences physiques, que fut construit le premier thermomètre. Cornelius Drebbel, savant hollandais, mort en 1634, fut l'inventeur de cet instrument, dont on se servit pour la première fois en Allemagne, en 1631.

L'appareil de Drebbel était, toutefois, singulièrement imparfait; c'était plutôt le rudiment du thermomètre que le thermomètre lui-même. Il consistait en un simple tube de verre, B (fig. 153) fermé à son extrémité supérieure et contenant de l'air. Ce tube plongeait verticalement dans un liquide, A, par son extrémité ouverte. Par l'effet des variations de température de l'air extérieur, le liquide s'élevait ou s'abaissait à l'intérieur du tube B. Une règle, munie de

divisions égales, placée le long du tube, portait les degrés de l'instrument.

Les indications du thermomètre de Drebbel n'avaient rien de scientifique, sa graduation tout arbitraire n'étant fondée sur aucun principe rigoureux.

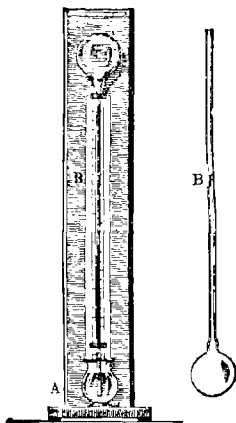


Fig. 153. Le premier thermomètre.

Au dix-septième siècle, il existait à Florence une association scientifique composée de physiciens éminents : l'Académie *del Cimento*, l'une des premières compagnies savantes qui aient paru en Europe. Divers membres de cette académie perfectionnèrent l'instrument inventé par le Hollandais Drebbel. Le réservoir du liquide dans lequel plongeait le tube de Drebbel fut supprimé, et le liquide fut placé tout entier dans un tube de verre, lequel fut fermé à ses deux bouts. De cette ma-

nière, le corps destiné à indiquer, par sa dilatation, les variations de la température, n'était plus l'air, comme dans le thermomètre hollandais, mais bien un liquide, et cette substitution était toute une révolution dans cet instrument.

Le liquide adopté par les académiciens *del Cimento* était l'alcool, que l'on colorait avec un peu de carmin. Pour diviser l'échelle du thermomètre, on avait adopté un point de départ constant : c'était la hauteur à laquelle s'arrêtait l'alcool quand on le plaçait dans une cave, lieu dont la température est assez constante quelle que soit la saison, pourvu qu'il s'agisse du même pays. On divisait ensuite en 100 parties égales la partie du tube située au-dessus de ce point, et l'on divisait également en 100 degrés égaux la partie du tube située au-dessous de ce même point.

Le thermomètre de l'Académie *del Cimento* fut employé par les physiciens pendant une grande partie du dix-septième siècle ; mais il présentait un vice essentiel : c'était sa graduation, dont le point de départ était arbitraire, car la température d'une cave n'a pas la constance que lui accordaient les physiciens italiens : elle varie de quelques degrés selon les pays. Il résultait de là que les instruments employés par les

physiciens des différentes parties du monde n'étaient nullement comparables entre eux, c'est-à-dire ne marquaient pas le même degré pour la même température.

Il fallait nécessairement découvrir et adopter, pour en faire la base de l'échelle du thermomètre, un point fixe fondé sur un phénomène naturel, facile, par conséquent, à produire en tous lieux. Un professeur de Padoue, Renaldini, démontra le premier la nécessité de rejeter tout point de départ arbitraire et variable dans la construction des thermomètres : il proposa d'adopter des *points fixes* pour l'échelle de cet instrument.

Renaldini, qui avait parfaitement posé le principe théorique de la nécessité des points fixes, n'avait su qu'incomplètement réaliser dans la pratique cette importante idée. C'est Newton qui exécuta, en 1701, le premier thermomètre à indications comparables. Depuis cette époque, cet instrument fut désigné sous le nom de *thermomètre de Newton*.

Le *thermomètre de Newton* était un tube de verre entièrement purgé d'air, fermé à son extrémité supérieure, et terminé, à sa partie inférieure, par un réservoir sphérique ou cylindrique. Ce tube contenait de l'huile de lin, qui s'élevait à peu près jusqu'à la moitié du tube. Les points fixes de cet instrument étaient : pour le terme supérieur, la température du corps humain, qui est sensiblement constante à toutes les latitudes et dans tous les climats ; et, pour le terme inférieur, le point où le liquide s'arrêtait quand on maintenait l'instrument dans la neige. On divisait en douze parties l'espace contenu entre ces deux points fixes, et l'on prolongeait les mêmes divisions au-dessus et au-dessous de ces deux points.

Guillaume Amontons, physicien français du dix-septième siècle, qui faisait partie de l'Académie des sciences de Paris, proposa de substituer au thermomètre de Newton un *thermomètre à air*. C'était revenir aux dispositions de Drebbel. Amontons adopta comme point fixe, pour le terme supérieur de son thermomètre, la température de l'eau bouillante, qu'il avait le premier reconnue comme un terme absolument constant.

Le *thermomètre à gaz* d'Amontons rendit de grands services. Seulement, comme les gaz se dilatent considérablement par la chaleur, les degrés de cet instrument occupaient un grand espace, ce qui obligeait à donner à l'appareil une longueur qui devenait gênante pour les expériences. En outre, le point

fixe inférieur n'avait pas la constance exigée pour la précision et la comparabilité des indications : c'était toujours le terme adopté par Newton, c'est-à-dire le degré de froid propre à la neige ; et comme la température de la neige varie dans différentes conditions, ce point de départ manquait d'exactitude.

Gabriel Fahrenheit, constructeur d'instruments à Dantzic, modifia, avec le plus grand bonheur, le thermomètre de Newton, en substituant le mercure à l'huile employée par le physicien anglais, et en adoptant pour point fixe la température de l'ébullition de l'eau, terme d'une exactitude physique irréprochable, emprunté au *thermomètre à air* d'Amontons.

C'est en 1714 que Fahrenheit commença à construire ses thermomètres. Dans les premiers instruments sortis de ses mains, l'artiste de Dantzic avait fait usage d'alcool comme liquide thermométrique ; mais, quelques années après, il adopta exclusivement le mercure, liquide qui présente des avantages inappréciables pour mesurer la chaleur, en raison de l'uniformité de sa dilatation, et parce qu'il n'entre en ébullition qu'à une très haute température, ce qui permet de l'employer à la mesure des températures les plus élevées.

Le *thermomètre de Fahrenheit* consistait donc en un tube de verre fermé à sa partie supérieure, terminé par un réservoir contenant du mercure. Le point fixe supérieur était le point où le mercure s'arrêtait quand on plaçait le tube dans la vapeur de l'eau bouillante ; le terme inférieur, le point où le mercure s'arrêtait quand on laissait séjourner le tube dans un mélange frigorifique particulier, formé de neige et de sel ammoniac, mélange fait, d'ailleurs, dans des proportions dont l'artiste allemand se réservait le secret. L'intervalle entre ces deux points fixes était divisé en 212 parties égales, qui représentaient les degrés du thermomètre.

Le point fixe inférieur, ou le zéro du thermomètre de Fahrenheit, étant difficile à établir par d'autres que par le constructeur allemand, Réaumur, physicien et naturaliste français, membre de l'Académie royale des sciences de Paris, proposa, vers 1730, d'adopter le terme de la glace *fondante*, pour le zéro du thermomètre, et de diviser en 80 parties égales la partie de cet instrument comprise entre ces deux points. A partir de 1750, le thermomètre de Réaumur devint, en France, d'un usage universel.

C'est un physicien d'Upsal, en Suède, nommé Celsius, qui proposa, en 1741, de diviser en 100 parties égales, au lieu de 80, l'échelle du thermomètre de Réaumur.

Depuis cette époque, cet instrument n'a pas reçu de modifications qui touchent au principe de sa construction.

Le *thermomètre centigrade* est le seul qui soit aujourd'hui usité en France. Celui de Fahrenheit est encore en usage en Angleterre et en Allemagne, ce qui est fâcheux pour la facilité de la comparaison des observations thermométriques faites dans ces deux pays et le nôtre.



Voici les diverses opérations qu'il faut exécuter pour construire un thermomètre et le graduer.

On prend un tube de verre d'un diamètre intérieur extrêmement fin, d'un diamètre dit *capillaire*, c'est-à-dire ne dépassant pas l'épaisseur d'un cheveu. On commence par s'assurer, par les moyens convenables, que son canal est sensiblement le même dans tous les points, afin que les degrés que l'on tracera plus tard sur ce tube renferment des volumes de mercure parfaitement égaux. Quand on a reconnu que le tube choisi présente sensiblement la même capacité dans toute sa longueur, on souffle en boule son extrémité, à l'aide d'un lampe d'émailleur, ou bien on y soude un morceau de tube cylindrique d'un diamètre plus fort, et l'instrument a dès lors la forme représentée par l'une des deux figures ci jointes (fig. 154).

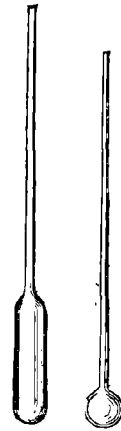


Fig. 154. Tube
du
thermomètre.

Il s'agit maintenant d'introduire dans ce tube le liquide thermométrique. Cette opération présente quelques difficultés, car l'extrême petitesse du diamètre du tube s'oppose à ce qu'on puisse y verser ce liquide directement, avec un entonnoir, par exemple. Ce tube est tellement étroit que le mercure et l'air ne pourraient s'y mouvoir en même temps, le premier pour y entrer, le second pour en sortir.

Voici l'un des moyens qui sont employés pour introduire le mercure dans le tube capillaire du thermomètre.

On chauffe sur une lampe à esprit-de-vin le réservoir A du tube (fig. 155). L'air qu'il contient, se dilatant considérablement par l'action de la chaleur, s'échappe en partie du tube, qui finit par ne contenir, à cette température, qu'un air très dilaté et par conséquent d'une faible tension. On plonge alors l'extrémité B, du tube, encore chaud, dans le mercure qu'il s'agit d'introduire dans le tube. Par le refroidissement, l'air contenu dans l'intérieur du tube a perdu son élasticité, il n'est plus capable de faire équilibre à la pression atmosphérique extérieure, laquelle, dès lors, agissant comme

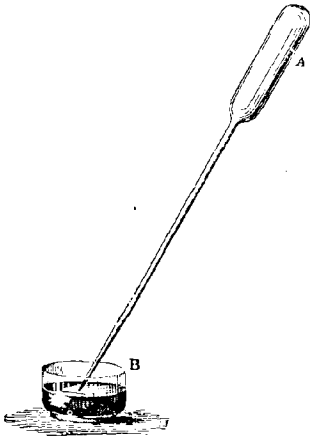


Fig. 155. Manière d'introduire le mercure dans le tube du thermomètre.

dans le baromètre, force, par sa pression, le mercure à s'élever dans l'intérieur du tube thermométrique, AB. En relevant le tube, on fait descendre sans difficulté à l'intérieur du réservoir la petite quantité de mercure ainsi introduite dans sa capacité. On répète alors la même opération, pour introduire une plus grande quantité de mercure. On fait ensuite bouillir, à l'aide d'une lampe à alcool, le mercure qui occupe une partie du réservoir; les vapeurs de mercure provenant de l'ébullition du liquide chassent tout

l'air du tube et prennent sa place. Si l'on plonge alors de nouveau la pointe ouverte du tube dans le bain de mercure, les vapeurs du mercure s'étant condensées par le refroidissement à l'intérieur du tube, laissent le vide dans cette capacité; dès lors, la pression de l'air atmosphérique fait élever le mercure à l'intérieur du tube, qui se trouve ainsi entièrement rempli.

Il s'agit maintenant de fermer le tube, sans y laisser aucune trace d'air, car, s'il y restait un peu d'air, ce fluide générerait les mouvements du mercure dans l'instrument une fois construit. Pour cela, on chauffe, à l'aide d'une lampe à alcool, le réservoir contenant le mercure. Par l'effet de la chaleur, le métal se dilate; par cette augmentation de volume, il remplit

toute la capacité intérieure du tube et déborde même en partie à l'extérieur. En ce moment, c'est-à-dire lorsque le tube est entièrement occupé par le mercure dilaté, et que par conséquent il ne contient pas une trace d'air, on dirige, à l'aide d'une lampe et d'un chalumeau pareil à celui des orfèvres, un dard de flamme sur l'extrémité du verre, qui fond et ferme ainsi l'orifice du tube, toujours plein de mercure. Quand l'instrument s'est refroidi, le mercure, revenu, par le refroidissement, à son volume primitif, n'occupe plus qu'environ la moitié du tube, ce qui laisse une certaine latitude aux variations de la colonne thermométrique pour les usages de l'instrument. L'espace libre au-dessus de la colonne thermométrique étant entièrement vide, c'est-à-dire privé d'air, le métal ne doit rencontrer aucune résistance capable de gêner son mouvement de dilatation ou de retrait.

Il ne reste plus qu'à graduer, c'est-à-dire à diviser en parties égales, le thermomètre construit comme nous venons de l'indiquer.

On détermine le point fixe inférieur, ou le zéro, à l'aide de la glace fondante.

Dans un vase rempli de glace pilée et disposé comme l'indique la figure 156, on place le thermomètre jusqu'à la moitié de la hauteur de sa tige. Au bout d'un quart d'heure, on marque, à l'aide d'une pointe de diamant, le point où le mercure s'est arrêté : ce sera le zéro du thermomètre.

Le point fixe supérieur s'obtient en exposant le tube à la température, non de l'eau bouillante elle-même, car les différentes couches de l'eau en ébullition n'ont point la même température (les plus inférieures sont plus chaudes que les supérieures), mais en l'exposant à l'action de la vapeur d'eau bouillante, dont la température est toujours la même quand on se place dans les conditions physiques voulues.

La figure 157 représente l'étuve à vapeur quisert à obtenir le point fixe supérieur du thermomètre. On voit que, par un bouchon qu'il traverse, le tube de l'instrument est soutenu

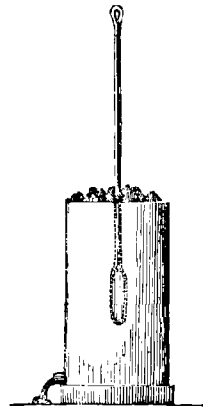


Fig. 156. Manière de fixer le zéro du thermomètre centigrade.

au-dessus d'une espèce de boîte métallique AB, surmontée d'un tuyau CD. Une certaine quantité d'eau contenue dans la boîte AB, que l'on place au-dessus d'un fourneau allumé, fournit de la vapeur qui vient remplir le tuyau CD, dans lequel le thermomètre est suspendu. Au bout de dix minutes environ, la colonne de mercure étant devenue stationnaire, on marque, avec une pointe de diamant, le point où le mercure s'est arrêté : ce sera le centième degré de l'échelle thermométrique.

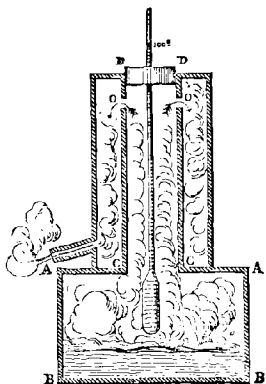


Fig. 157. Coupe de l'étuve à vapeur d'eau bouillante qui sert à fixer le 100.^e degré du thermomètre centigrade.

La dernière opération consiste à diviser en 100 parties égales l'intervalle compris entre les deux points fixes. Quelquefois, et c'est le procédé le plus exact, on exécute ces divisions sur le verre même de la tige de l'instrument. Les thermomètres dont on fait usage dans les laboratoires de physique et de chimie ont leur échelle ainsi graduée sur le verre. Mais pour les thermomètres d'appartement, on se contente de fixer le tube sur une petite planche de bois, de métal ou de porcelaine. On marque zéro en face du

trait laissé par le diamant correspondant à la glace fondante, et 100 degrés au point qui correspond à la température de l'ébullition de l'eau. Ensuite, à l'aide d'une machine à diviser, on partage l'entre-deux en 100 parties égales, qui représenteront les degrés du thermomètre, et s'il est nécessaire, on prolonge ces mêmes divisions au-dessus et au-dessous de ces deux points.

On construit le thermomètre à alcool à peu près comme le thermomètre à mercure, mais on ne saurait procéder de la même manière pour diviser l'échelle de cet instrument. En effet, l'alcool ne jouit pas, comme le mercure, de la précieuse propriété de se dilater uniformément entre zéro et 100 degrés, c'est-à-dire d'augmenter de volume dans la proportion exacte de la chaleur qu'il reçoit. L'irrégularité de la dilatation de l'alcool oblige de se servir d'un bon thermomètre à mercure pour fixer, sur le thermomètre à alcool en construction, un

certain nombre de points correspondant à des températures distantes entre elles de huit à dix degrés. On subdivise ensuite en parties égales l'intervalle compris entre les points du raccord qui ont été déterminés par le secours du thermomètre à mercure.

On voit, par ces détails, que le thermomètre à alcool doit donner des indications moins rigoureuses que celles du thermomètre à mercure. C'est donc à ce dernier instrument que les physiiciens ont toujours recours pour mesurer exactement la température des corps. Le thermomètre à alcool présente néanmoins une supériorité sur le thermomètre à mercure, quand il s'agit d'évaluer des températures très basses. En effet, le mercure se congèle à 39 degrés au-dessous de zéro ; l'alcool, au contraire, ne se congèle qu'à une température tellement basse qu'on ne peut la réaliser que par les moyens les plus

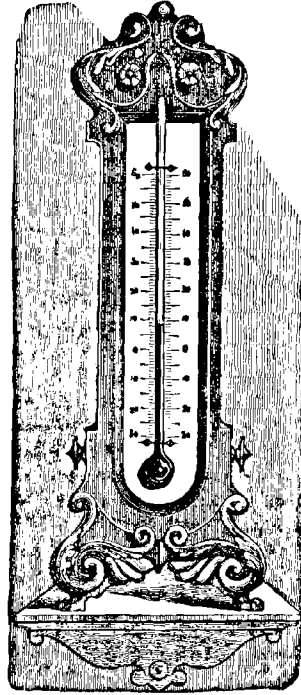


Fig. 158. Thermomètre à mercure.

puissants de refroidissement que possède la physique. Le thermomètre à alcool est donc le seul dont on doive faire usage pour observer des températures très inférieures à zéro.

C'est avec des liquides, le mercure et l'alcool, que sont construits, comme on vient de le voir, les thermomètres usuels. Cependant les physiiciens font quelquefois usage de thermomètres composés avec des gaz et même avec des corps solides. Le *thermomètre à air* est quelquefois employé dans les recherches des physiiciens ; un *thermomètre métallique* a été imaginé, mais il est bien rare qu'on en fasse usage.

Le *thermomètre à air* se compose d'un tube doublement recourbé, se terminant, à chaque extrémité, par une boule pleine d'air, comme le reste du tube. Il existe deux formes

de cet instrument : le *thermomètre à air de Leslie* et celui de *Rumford*.

Le *thermomètre de Leslie* se compose (fig. 159) d'un tube

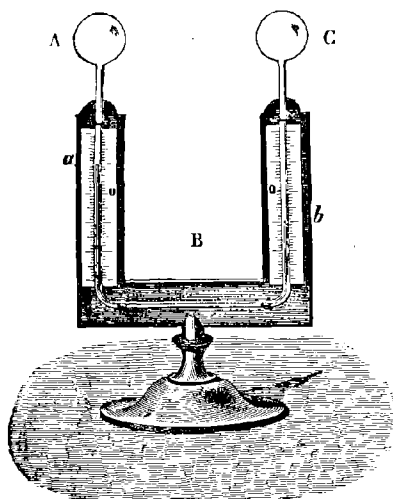


Fig. 159. Thermomètre à air de Leslie.

ABC, recourbé de manière à former deux branches verticales et une branche horizontale. Ce tube renferme un liquide coloré en rouge, et ce liquide s'élève à la même hauteur dans les deux branches du tube, quand les deux boules sont à la même température. On a marqué 0° à ce niveau commun. Quand une des boules est plus échauffée que l'autre, la dilatation de l'air fait abaisser le liquide dans une des branches et le fait remonter dans l'autre. Si,

par exemple, on chauffe la boule C, le liquide coloré s'abaisse dans la branche *b* du tube et s'élève dans la branche *a*. Si l'on

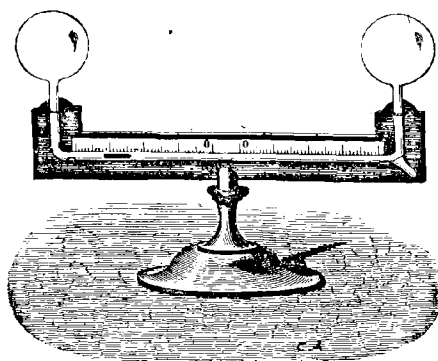


Fig. 160. Thermomètre à air de Rumford.

a gradué la colonne, à partir de 0, en parties égales, au moyen d'un thermomètre à mercure, on a un thermomètre fort exact.

Dans le *thermomètre de Rumford* (fig. 160), il n'y a qu'un

simple index de mercure, au lieu de la branche liquide qui existe dans le thermomètre de Leslie. On gradue cet instrument en entourant de glace la boule de droite, et s'arrangeant pour que l'index occupe le milieu de la partie horizontale du tube doublement coudé. On marque 0° à ce point fixe. Ensuite, à l'aide d'un thermomètre à mercure, on détermine les degrés à partir de ce 0 au-dessus et au-dessous du 0 indiqué par le thermomètre à mercure qui sert d'*étalon*.

Un thermomètre ainsi construit serait fort exact ; mais comme il faudrait lui donner de grandes dimensions pour une échelle un peu étendue, en raison de la grande dilatation de l'air pour une petite variation de température, cet instrument n'est jamais employé à titre de thermomètre, et ne constitue qu'un objet de curiosité dans les cabinets de physique.



XIV

LA MACHINE A VAPEUR

PRINCIPES GÉNÉRAUX

Principe général de l'action mécanique de la vapeur. — Machines à vapeur à condensation et sans condensation, ou machines à *haute* et à *basse pression*. — Classification des machines à vapeur.

Tous nos jeunes lecteurs ont été témoins des effets extraordinaires de la vapeur employée comme force motrice, et sans nul doute chacun a désiré se rendre compte de son action. Quand on entre dans une usine mécanique, quand on assiste à ce spectacle étonnant d'un moteur unique distribuant la force dans les différentes parties d'un atelier, soulevant les fardeaux les plus lourds, mettant en mouvement des masses énormes et triomphant de toutes les résistances qu'on lui oppose ; — lorsque, embarqué sur un bateau à vapeur, on voit les roues de ce bateau, tournant avec une rapidité excessive, fendre avec force les eaux d'un fleuve ou les flots de l'Océan, et sans le secours des voiles, s'avancer contre les courants et les vents contraires ; — lorsque, emporté sur les rails d'un chemin de fer, on voit une locomotive, lançant des torrents de vapeur sur son passage, traîner après elle, et comme en se jouant, de longs convois pesamment chargés ; — quand on voit, en un mot, les applications innombrables de la machine à vapeur, devenue l'agent indispensable et comme l'âme de l'industrie moderne, il s'élève en notre esprit l'impérieux

désir de connaître exactement le mécanisme physique qui donne les moyens d'accomplir toutes ces merveilles. C'est ce désir que nous allons essayer de satisfaire, en exposant les principes, les règles et les faits sur lesquels repose l'emploi mécanique de la vapeur dans la série infiniment variée de ses applications. Nous rappellerons, en même temps, les noms des hommes de génie qui, par leurs efforts successifs, ont doté l'humanité de cet inappréciable bienfait.

L'emploi général de la vapeur d'eau comme force mécanique repose sur un principe simple et facile à comprendre.

Les gaz et les vapeurs, quand on les tient enfermés dans un espace clos, pressent très fortement contre les parois de l'enceinte qui les resserre. Comme les vapeurs de tous les liquides, la vapeur d'eau maintenue dans un espace clos jouit d'une énorme force de pression.

Si l'on fait bouillir de l'eau dans une marmite exactement fermée par son couvercle, au bout de quelques minutes d'ébullition, la vapeur d'eau qui se forme au sein du liquide bouillant, surmontant le poids du couvercle, le soulève et s'échappe dans l'air.

Si l'on introduit dans une bombe métallique creuse une petite quantité d'eau, qu'on ferme exactement, à l'aide d'un bouchon à vis métallique, l'orifice de la bombe, et qu'on la place en cet état au milieu d'un feu ardent, la vapeur formée par l'ébullition du liquide à l'intérieur de cet espace, ne trouvant aucune issue pour s'échapper au dehors, brise violemment l'enveloppe métallique, et en projette au loin les éclats, avec une bruyante et dangereuse explosion.

Ces faits, connus de tout le monde, établissent suffisamment la grande puissance mécanique dont jouit la vapeur d'un liquide resserrée dans un espace clos. Mais il est évident que l'on doit pouvoir tirer un parti utile de cette énorme puissance, si on s'en sert avec intelligence, sans atteindre la limite à laquelle elle produit ses effets de destruction.

Nous allons voir quels sont les moyens dont on fait usage pour tirer parti, dans les machines dites à vapeur, de la force qui réside dans la vapeur de l'eau bouillante.

Si l'on adapte à une chaudière pleine d'eau, que l'on peut

porter à l'ébullition, à l'aide d'un fourneau F (fig. 161), un tube, T, qui dirige la vapeur de la chaudière dans un cylindre métallique creux, CC, parcouru par un piston glissant à frottement dans son intérieur, il est évident que la vapeur arrivant par le tube TR à la partie inférieure du cylindre, c'est-à-dire au-dessous du piston, forcera, par sa pression, le piston à s'élever jusqu'au haut du cylindre. Si l'on interrompt alors l'arrivée de la vapeur au-dessous du piston, et que, ouvrant

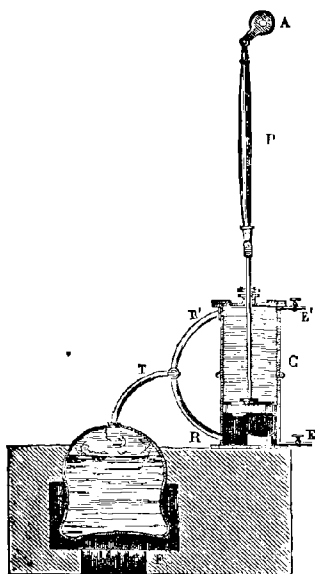


Fig. 161. Principe général de la machine à vapeur.

le robinet E, on permette à la vapeur qui remplit cet espace de s'échapper dans l'air extérieur, et qu'en même temps, en ouvrant un second tube R', on fasse arriver de nouvelle vapeur *au-dessus* du piston, la pression de cette vapeur, s'exerçant de haut en bas, précipitera le piston jusqu'au bas de sa course, puisqu'il n'existera plus, au-dessous de lui, de résistance capable de contrarier l'effort de la vapeur. Si l'on renouvelle continuellement cette arrivée alternative de la vapeur au-dessous et au-dessus du piston, en donnant à chaque fois issue à la vapeur contenue dans la partie opposée du cylindre, le piston,

ainsi alternativement pressé sur ses deux faces, exécutera un mouvement continu d'élévation et d'abaissement dans l'intérieur du cylindre.

Il est facile de comprendre maintenant que si le levier P, attaché à la tige de ce piston par sa partie inférieure, est fixé, par sa partie supérieure, à la manivelle, A, de l'arbre tournant d'un atelier, l'action continue de la vapeur aura pour résultat d'imprimer à l'arbre, A, un mouvement continu de rotation. Le mouvement de cet arbre pourra ensuite, à l'aide de courroies et de poulies, être transmis aux nombreuses machines ou outils distribués dans les différentes pièces d'une usine.

Beaucoup de machines à vapeur sont construites par la sim-

ple application du principe général que nous venons d'exposer. On désigne ces machines à vapeur sous le nom de *machines à haute pression*. Elles se réduisent à un cylindre métallique dans lequel la vapeur vient presser alternativement les deux faces opposées du piston, et s'échappe ensuite dans l'air.

Il est une seconde manière de tirer parti de la force élastique de la vapeur. Toute vapeur se condense, c'est-à-dire revient à son état primitif, dès qu'elle se trouve exposée à une température inférieure à celle du lieu où elle s'est formée. Partant de ce principe, au lieu de rejeter la vapeur dans l'air, après chaque oscillation du piston, comme nous venons de le montrer dans l'appareil précédent, on la condense à l'intérieur de l'appareil, et voici comment cette condensation donne naissance à un effet mécanique.

Si, au lieu de laisser perdre au dehors la vapeur d'eau d'une machine quand elle a produit son effet, on dirige cette vapeur, au moyen d'un tube, dans un espace continuellement refroidi par un courant d'eau, la vapeur, en arrivant dans cet espace, se condensera et repassera immédiatement à l'état liquide. Par suite de cette condensation, le vide existera à l'intérieur du cylindre et le piston, n'éprouvant plus de résistance au-dessous de lui, obéira facilement à la pression que la vapeur exerce sur sa face supérieure, et il descendra jusqu'au bas du cylindre.

Si l'on répète continuellement ce jeu alternatif : l'arrivée de la vapeur sous le piston — la condensation de cette vapeur dans un vase isolé — l'arrivée de nouvelle vapeur au-dessus du piston, la condensation de cette vapeur, — ainsi de suite, on produit une élévation et un abaissement continu du piston dans l'intérieur du cylindre ; ces effets se transmettent ensuite comme à l'ordinaire à l'arbre moteur, par la tige du piston. Cette seconde espèce de machines porte le nom de *machines à condenseur* ou à *basse pression*.

On divisait autrefois les machines à vapeur en *machines à basse pression* et à *haute pression*, ou mieux, en *machines à condenseur* et *sans condenseur*. Cette division est aujourd'hui abandonnée. En considérant leur service, on divise les machines à vapeur en quatre classes :

218 LES GRANDES INVENTIONS MODERNES.

- 1° Les machines fixes, à l'usage des ateliers et des usines ;
- 2° Les machines de navigation, ou les machines à vapeur marines ;
- 3° Les locomotives ;
- 4° Les locomobiles.

Dans chacune de ces quatre divisions, nous considérerons successivement les machines à vapeur, au point de vue historique et descriptif.

A l'occasion des locomotives nous étudierons les chemins de fer et toutes les questions importantes qui s'y rattachent. A propos des locomobiles nous traiterons des *voitures à vapeur* et des *locomobiles routières*.



XV

LES MACHINES A VAPEUR FIXES

Historique. — Denis Papin. — Newcomen et Cawley. — Machine de Newcomen. — Travaux de James Watt. — Découverte de la machine à vapeur à double effet. — Découverte des machines à haute pression. — Perfectionnement de la machine à vapeur depuis Watt. — Description des machines à vapeur fixes. — Machines à condenseur. — Machines sans condenseur.

Les anciens ont entièrement ignoré qu'il existât dans la vapeur d'eau fortement chauffée une force élastique capable d'être utilisée comme agent moteur. C'est à la science moderne qu'appartient la création des machines à vapeur.

Nous avons vu, en parlant du baromètre, que c'est au dix-septième siècle, par les travaux d'Otto de Guericke et de Pascal, que fut découvert le grand phénomène de la pesanteur de l'air, et que fut mise en évidence la pression exercée par l'air sur tous les corps placés à la surface de la terre. La machine à vapeur qui fut inventée et construite pour la première fois, par Denis Papin, était une application du principe de la pression de l'air.

L'illustre Huygens avait eu la pensée de créer une machine motrice en faisant détoner de la poudre à canon sous un cylindre parcouru par un piston. L'air contenu dans ce cylindre, dilaté par la chaleur résultant de la combustion de la poudre, s'échappait au dehors, au moyen d'une soupape. Il existait, dès lors, au-dessous du piston, un vide partiel, c'est-à-dire de l'air considérablement raréfié, et dès ce moment la pression de l'air atmosphérique s'exerçant sur la partie supé-

rieure du piston, et n'étant qu'imparfaitement contre-balancée par l'air raréfié existant au-dessous du piston, précipitait ce piston au bas du cylindre. Par conséquent, si l'on avait attaché au piston une chaîne ou une corde venant s'enrouler autour d'une poulie, on pouvait élever des poids placés à l'extrémité de cette corde et produire ainsi un véritable effet mécanique.

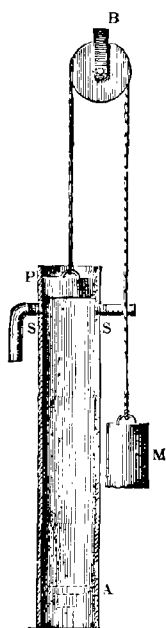


Fig. 162. Coupe de la machine à poudre de Huygens.

C'est ce que montre la figure 162, empruntée au mémoire de Huygens et qui donne la coupe de son *cylindre à poudre*. Dans cette figure, A représente le petit récipient destiné à recevoir la poudre à canon; P, le piston qui doit être soulevé par l'effet d'expansion des gaz; SS, les soupapes par lesquelles l'air dilaté se dégage au dehors; M, le poids soulevé grâce à la corde qui s'enroule sur la poulie B.

Soumis à l'expérience, l'appareil précédent n'avait pas donné de bons résultats, en raison de la trop faible raréfaction de l'air contenu au-dessous du piston. C'est alors que se présenta l'idée, pleine d'avenir, de remplacer la poudre à canon, comme moyen de produire le vide sous un piston, par de la vapeur d'eau, que l'on faisait condenser dans cet espace même.

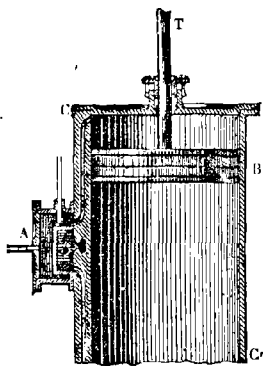


Fig. 163. Coupe du cylindre et du piston d'une machine à vapeur.

On comprend, en effet, que si dans le cylindre CC' (fig. 163), parcouru par un piston B, on fait arriver un courant de vapeur d'eau, par l'orifice A, la vapeur, par sa force élastique, obligera le piston B à s'élever jusqu'au haut du corps de pompe. Maintenant, si, par un moyen quelconque, par exemple en faisant refroidir les parois extérieures du cylindre CC', on provoque la condensation de la vapeur d'eau, quand cette vapeur sera condensée, le vide existera dans le cylindre, car l'air avait été

chassé de cet espace par la vapeur d'eau; et puisque cette vapeur a disparu à son tour en se liquéfiant, il n'existe plus rien dans cet espace: c'est le vide. Or l'air extérieur pesant de toute sa masse sur la tête du piston, et sa pression n'étant contre-balancée par rien, puisque le vide existe au-dessous du piston, doit précipiter ce piston jusqu'au bas de sa course.

D'après cela, il suffira d'introduire et de condenser successivement de la vapeur d'eau dans le cylindre CC' pour imprimer au piston B, qui le parcourt, un mouvement alternatif d'élévation et d'abaissement; et si une tige, T, est fixée à ce piston, et qu'on mette cette tige en communication avec l'arbre moteur d'une machine, on pourra, grâce au mouvement continu de cette tige, imprimer un mouvement de rotation à l'arbre et produire ainsi toute sorte de travail mécanique.

L'appareil que nous venons de décrire n'est pas une pure conception de la théorie. C'est la première machine à

vapeur qui ait été imaginée. C'est la machine même qui fut construite, en 1690, par Denis Papin.

Né à Blois le 22 août 1645, mort vers l'année 1714, Denis Papin nous offre un des plus tristes et des plus remarquables exemples du génie en proie à une constante adversité. Protestant, et fidèle à sa foi religieuse, il s'expatria, comme des milliers de ses coreligionnaires, à l'époque de la révocation de l'Édit de Nantes, qui fut, comme on le sait, décrétée par



Fig. 164. Denis Papin.

Louis XIV, en 1685. Ce fut donc à l'étranger, en Angleterre, en Italie et en Allemagne, que Denis Papin réalisa le plus grand nombre de ses inventions, parmi lesquelles figure surtout la machine à vapeur.

En 1707, Papin avait exécuté une machine à vapeur conçue sur un principe un peu différent de celle dont nous avons parlé plus haut, et il l'avait installée sur un bateau muni de roues. Il s'était embarqué à Cassel, sur la Fulda, et était arrivé à Münden, ville du Hanovre, pour passer de là, avec son

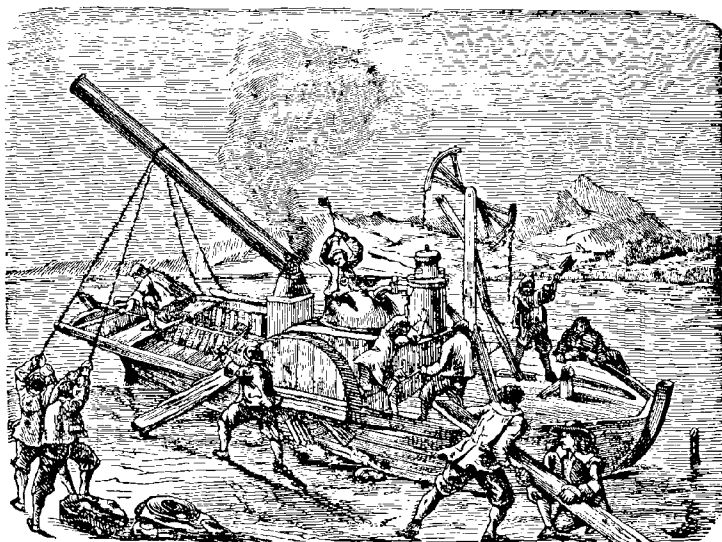


Fig. 165. Les bateliers du Weser mettent en pièces le bateau à vapeur de Papin.

bateau, dans les eaux du Weser, et se rendre enfin en Angleterre, où il aurait expérimenté et fait connaître sa machine à vapeur. Mais les bateliers du Weser lui refusèrent l'entrée de ce fleuve, et pour répondre à ses plaintes, ils eurent la barbarie de mettre en pièces son bateau.

A partir de ce moment, le malheureux Papin, sans ressources et sans asile, traîna une vie de privations et d'amertume. Il languit dans la misère et l'abandon. Retiré à Londres, il y vécut de très faibles secours péniblement arrachés à la *Société royale de Londres*, dont il était membre, et qui l'employait à des travaux de faible importance. On ignore même

l'année précise et le lieu de la mort de cet homme illustre et malheureux, dont la France glorifiera éternellement la mémoire.

La machine à vapeur atmosphérique que Papin avait fait connaître en 1690 fut construite dans des conditions pratiques, et livrée à l'industrie, par deux artisans intelligents de la ville de Darmouth, en Angleterre : Newcomen et Cawley.

En 1698, Thomas Savery, ancien ouvrier de mines, devenu, grâce au travail et à l'étude, un habile ingénieur, avait réussi

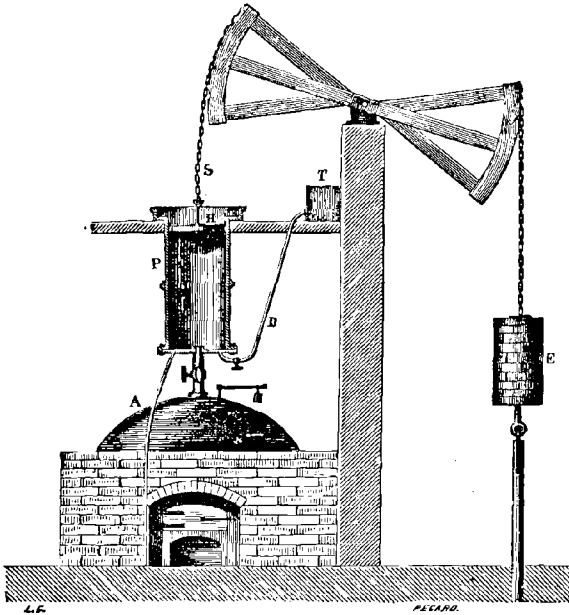


Fig. 166. Coupe de la machine à vapeur de Newcomen.

à exécuter une machine de son invention qui avait pour principe la pression de la vapeur d'eau, et il avait appliqué cette machine à l'élevation des eaux dans les mines de houille. Mais la machine à vapeur que Newcomen et Cawley réussirent à construire en imitant celle de Papin, manifesta une telle supériorité sur l'appareil de Savery, qu'elle fit promptement abandonner l'usage de ce dernier moteur.

Vers le milieu du dix-huitième siècle, la machine à vapeur de Newcomen était déjà très répandue en Angleterre. Une très puissante machine de ce genre servait à la distribution des

eaux dans la ville de Londres, et beaucoup d'autres machines semblables fonctionnaient dans les mines de houille de l'Angleterre, pour l'épuisement des eaux.

La figure 166, tirée de l'*Histoire des machines à vapeur* de Jean Hachette, professeur à la Faculté des sciences de Paris ¹, représente les éléments essentiels de la machine de Newcomen. P est le cylindre dans lequel le piston H s'élève par la pression de la vapeur envoyée par la chaudière A. Quand le piston est parvenu au sommet de sa course, on fait couler, au moyen du tube D, un courant d'eau froide tombant du réservoir, qui vient condenser la vapeur à l'intérieur du cylindre, et produire ainsi le vide par suite de la condensation de la vapeur. Dès lors, le vide existant à l'intérieur du cylindre, le piston H, sous le poids de l'air atmosphérique extérieur, descend dans l'intérieur du cylindre. Au moyen de la chaîne S, attachée à la partie supérieure de ce piston et du contrepoids E, on peut produire un effort mécanique, élever des fardeaux, mettre en action des pompes pour l'épuisement des eaux, etc.

On voit que la machine de Newcomen n'est autre chose que l'application pratique de l'appareil conçu en 1690 par notre illustre compatriote, Denis Papin.

La figure 167, tirée d'un ouvrage du dix-septième siècle, la *Physique de Désaguliers*, montre le mode d'installation de la machine à vapeur qui fonctionnait à Londres, au dix-huitième siècle, pour l'élévation et la distribution des eaux de la Tamise.

La machine à vapeur de Newcomen resta en usage en Angleterre sans modifications notables jusqu'à la fin du dix-huitième siècle. A cette époque, le célèbre constructeur James Watt s'en empara, et lui fit subir les plus heureuses transformations.

James Watt, qui s'est tant illustré par ses découvertes multipliées sur l'emploi mécanique de la vapeur, n'était qu'un pauvre ouvrier mécanicien de la ville de Greenock, en Écosse. Par son application au travail, par sa persévérance et son génie, il devint un des hommes les plus importants de la Grande-Bretagne; par ses découvertes sur le mode d'em-

1. Paris, 1830, in-8.

ploi de la vapeur, il enrichit son pays et le monde entier.

Dans la machine à vapeur de Newcomen, qui, à la fin du siècle dernier, était assez répandue en Angleterre pour l'extraction des eaux dans les mines de houille, il y avait un vice essentiel : c'était le mode de condensation de la vapeur, que l'on provoquait, comme nous l'avons déjà dit, par un courant d'eau froide injectée dans l'intérieur même du cylindre. Cette eau refroidissait le cylindre, et la vapeur, en arrivant dans cet

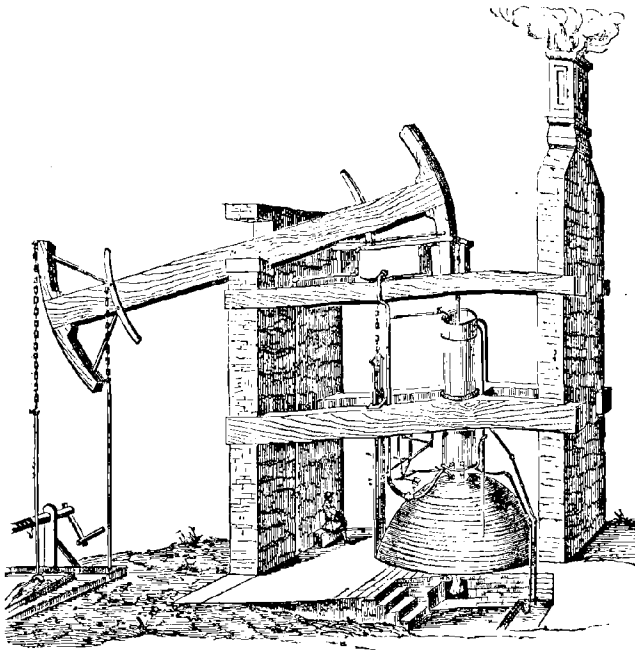


Fig. 167. Machine à vapeur de Newcomen, employée à Londres, au dix-huitième siècle, pour l'élévation et la distribution de l'eau de la Tamise.

espace refroidi, s'y condensait en partie, ce qui amenait une perte considérable de chaleur, et augmentait beaucoup la dépense de combustible. Par une invention capitale, James Watt réalisa dans cette machine une économie des trois quarts du combustible employé. Au lieu de condenser la vapeur dans l'intérieur même du cylindre, il fit communiquer le cylindre, au moyen d'un tuyau, avec une caisse séparée, parcourue par un courant d'eau continuel : la vapeur allait se liquéfier dans cet espace, qui reçut le nom de *condenseur isolé*.

Dans la machine de Newcomen ainsi perfectionnée par James Watt, la vapeur n'agissait que sur la face inférieure du piston, pour produire son oscillation ascendante. Par une autre invention capitale, Watt créa la *machine à vapeur à double effet*. Au lieu de faire agir la vapeur sur la face inférieure du piston seulement, il la fit agir sur ses deux faces, de manière à produire, par le seul effet de la force élastique de la vapeur, les mouvements d'élévation et d'abaissement du piston. Il bannit ainsi toute intervention de la pression de l'air dans cette machine, qui reçut dès lors exclusivement de la force élastique de la vapeur son principe d'action.

Après avoir construit la machine à double effet, Watt apporta encore des améliorations d'une haute importance aux différents organes de la machine à vapeur. Sans entrer dans des détails qui nous entraîneraient trop loin, nous nous bornerons à dire que Watt découvrit successivement : 1° le *paralélogramme articulé*, qui sert à transmettre au balancier de la machine les deux impulsions successives résultant de l'élévation et de l'abaissement du piston ; 2° la *manivelle*, qui sert à transformer en un mouvement de rotation de l'arbre moteur le mouvement de va et vient du piston ; 3° le *régulateur à boules*, qui sert à régulariser l'entrée de la vapeur dans l'intérieur du cylindre, en n'y admettant que la quantité de vapeur exactement nécessaire au jeu de la machine.

C'est par cet ensemble de perfectionnements et de découvertes dans les organes essentiels et secondaires de ce moteur, que Watt parvint à créer presque de toutes pièces la machine à vapeur. Ayant reçu de cette manière la forme et les dispositions les plus avantageuses, tant pour l'économie que pour l'usage pratique, cette machine se répandit promptement en Europe, et dans les premières années de notre siècle elle était devenue d'un usage général en Europe et en Amérique.

Une autre découverte d'une haute importance dans le mode d'emploi de la vapeur a été faite au début de notre siècle : c'est l'emploi de la vapeur à haute pression.

Que faut-il entendre par le mot de *vapeur à haute pression* ?

Quand l'eau est en ébullition, si l'on envoie sa vapeur dans le cylindre, elle y produit une puissante action mécanique. Mais cette action mécanique sera considérablement augmen-

tée si, avant d'envoyer dans le cylindre cette vapeur, on la chauffe très fortement en la maintenant dans le cylindre. Ainsi chauffée, elle acquiert une puissance considérable; et la *tension* de la vapeur (c'est là l'expression consacrée) est d'autant plus forte que la vapeur est chauffée plus longtemps avant d'être dirigée dans le cylindre.

C'est un mécanicien allemand, Leupold, qui avait le pre-



Fig. 168. Statue de James Watt, à Westminster.

mier, vers 1725, conçu l'idée de faire usage de la vapeur à haute tension dans les machines à vapeur. Il donna la description d'une machine à vapeur à haute pression dans un ouvrage justement célèbre, *Theatrum machinarum*. Mais ce mode d'emploi de la vapeur ne fut pas adopté par James Watt. La construction des premières machines à haute pression appartient à un Américain, Olivier Evans, d'abord simple ouvrier à Philadelphie, plus tard constructeur d'appareils mécaniques dans la même ville.

En 1825, les mécaniciens Trevithick et Vivian commencèrent à répandre en Angleterre l'usage des machines à vapeur à haute pression d'Olivier Evans, qui jouirent bientôt d'une grande faveur.

Une foule d'autres perfectionnements ont été apportés, de nos jours, à la machine à vapeur. Comme systèmes nouveaux, destinés à remplacer la machine de Watt, nous citerons :

1° Les *machines à deux cylindres*, ou *machines de Wolf*, qui sont très répandues dans les filatures françaises ;

2° Les *machines à cylindre fixe horizontal*, qui sont aujourd'hui en grande faveur dans nos ateliers mécaniques ;

3° Les *machines à cylindre oscillant*, qui offraient peu d'avantages, et qui sont aujourd'hui abandonnées ;

4° Les *machines rotatives*, dont le système est très rationnel au point de vue théorique, mais qui n'ont donné encore aucun résultat pratique ;

5° Les *machines à vapeur d'éther*, dans lesquelles un liquide auxiliaire, l'éther, vient ajouter la force élastique de sa vapeur à celle de la vapeur d'eau ;

6° Enfin les *machines à air chaud*, dans lesquelles on se propose de remplacer la vapeur d'eau par une même masse d'air alternativement échauffée et refroidie.



Après ce court exposé historique des divers perfectionnements qui ont été apportés à la machine à vapeur fixe, depuis son origine jusqu'à nos jours, il nous reste à décrire brièvement les divers systèmes des machines fixes qui sont en usage dans nos ateliers et nos usines. On peut réduire ces systèmes à deux :

1° Les *machines sans condenseur*, dans lesquelles la vapeur s'échappe dans l'air, après avoir exercé son effort sur les deux faces du piston ;

2° Les *machines à condenseur*, dans lesquelles la vapeur d'eau, au lieu de se perdre au dehors, se liquéfie dans un vase, nommé *condenseur*.

Rien n'est plus facile à comprendre que le mécanisme des *machines sans condenseur*, souvent désignées sous le nom de *machines à haute pression*, parce que la pression s'y trouve

employée à une tension de deux atmosphères au moins, et peut aller jusqu'à dix ou douze atmosphères.

La figure 169 représente le mécanisme fondamental de la machine à vapeur sans condenseur.

La vapeur arrive par le tuyau D, sous le piston C, et le sou-

lève de bas en haut. Quand le piston est parvenu au sommet de sa course, une soupape s'ouvre, et fait arriver la vapeur de la chaudière au-dessus, c'est-à-dire sur la tête du piston. En même temps, une autre soupape venant à s'ouvrir au-dessous du piston, la vapeur du cylindre se précipite au dehors. N'ayant à surmonter que la résistance de l'air à sa partie inférieure, c'est-à-dire la résistance d'une atmosphère, et se trouvant soumis à sa partie supérieure, c'est-à-dire sur sa tête, à la pression de la vapeur, qui est de plusieurs atmosphères,

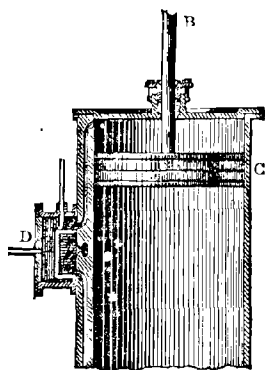


Fig. 169. Coupe du cylindre et du piston d'une machine à vapeur.

le piston s'abaisse nécessairement dans l'intérieur du corps de pompe. A peine y est-il parvenu, que l'on fait échapper au dehors, en ouvrant une soupape, la vapeur qui remplissait la partie supérieure du cylindre. Au même instant, une nouvelle vapeur arrive au-dessous du piston et, de nouveau, le repousse en haut, par le fait de la pression de cette vapeur qui, portée à la tension de plusieurs atmosphères, n'a à surmonter que la pression d'une atmosphère de l'air extérieur.

C'est en répétant la série de ces mouvements, c'est-à-dire en faisant arriver alternativement de la vapeur au-dessus et au-dessous du piston, et en lâchant cette vapeur dans l'air, dès qu'elle a produit son effort sur l'une des faces du piston, que l'on produit d'une manière continue les mouvements d'élévation et d'abaissement de ce piston. A l'aide de dispositions mécaniques particulières, il est facile de transmettre ce mouvement rectiligne de la tige du piston à l'arbre moteur d'un atelier mécanique.

Les machines sans condenseur ont la disposition représentée par la figure 170 : C, le cylindre à vapeur, est placé horizontalement; T est le tube qui rejette hors de l'usine la

vapeur qui sort du cylindre après avoir exercé son effort sur le piston.

Pour transmettre à l'arbre moteur de l'usine le mouvement de la tige du piston A, on adapte au sommet de cette tige une articulation, B, qui pousse la tige Q, mobile autour de l'articulation B, et lui permet d'exécuter ainsi un mouvement de

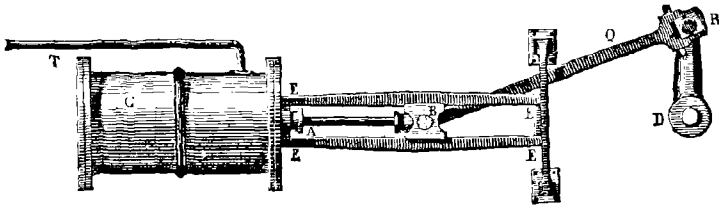


Fig. 170. Cylindre de la machine à vapeur sans condenseur.

haut en bas. Ce mouvement se transmet ensuite à la tige D R, et fait tourner l'arbre moteur, dont la section verticale se voit au point D.

La figure 171 représente l'ensemble de la machine sans condenseur, dont la figure précédente faisait voir théoriquement les éléments essentiels. A est le cylindre à vapeur; B, le tube par lequel la vapeur s'échappe au dehors, après avoir exercé sa pression sur le piston; C, la *bielle*, ou tige du piston, qui, articulée en D, fait mouvoir l'arbre de la machine, pourvu du volant E, lequel régularise le mouvement. Une roue F, fixée sur l'arbre moteur, transmet, au moyen d'une courroie G, le mouvement aux outils de l'atelier qu'il s'agit de mettre en action.

Dans la machine représentée par la figure 171, le cylindre à vapeur est disposé horizontalement; c'est une *machine horizontale*. Mais le cylindre des machines à vapeur sans condenseur est souvent disposé verticalement; c'est alors la *machine verticale*. Il importe de donner l'idée de cette dernière machine, qui est tout aussi usitée que la précédente.

La figure 172 représente le cylindre d'une *machine à vapeur verticale*. La vapeur arrive par la partie inférieure, A, du cylindre, C. Le piston en s'élevant par l'effet de la pression de la vapeur pousse la bielle ou tige, E F, et comme cette bielle est munie à sa partie inférieure, E, d'une articulation, et qu'elle est également pourvue à sa partie supérieure, F, d'une

pareille articulation, elle suit une direction inclinée de gauche à droite et de droite à gauche, ce qui a pour effet de faire tourner le levier O J, sorte de manivelle qui met en rotation l'arbre moteur, ainsi que le volant V, qui a pour effet d'a-

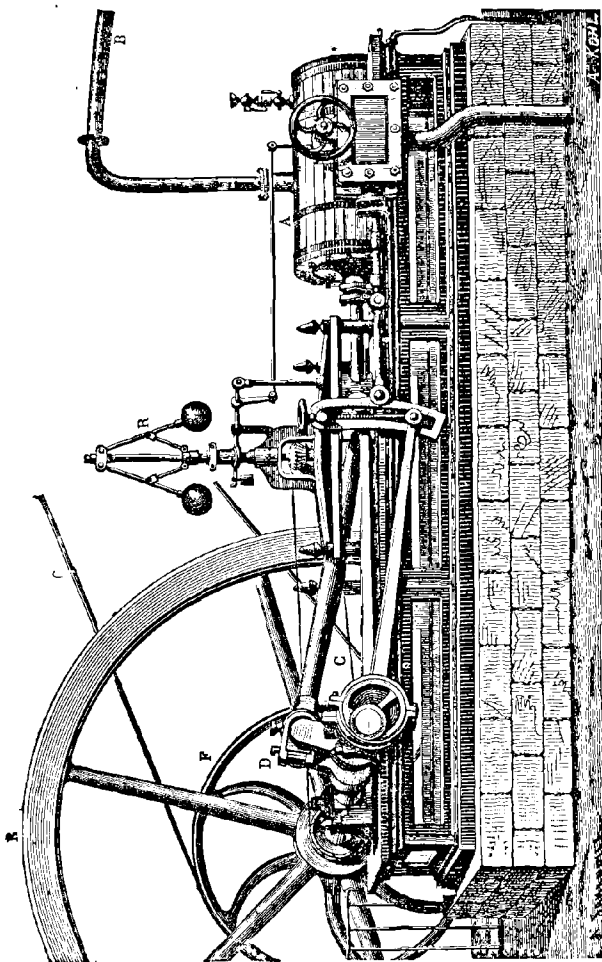


Fig. 171. Machine sans condenseur, à cylindre horizontal.

doucir et de régulariser le mouvement de cet arbre. Pour assurer et faciliter le mouvement du piston et du levier articulé E F qui lui fait suite, on l'entoure de deux montants verticaux K, G, H, fixés d'une part au cylindre et d'autre part à un support de tout le système mécanique.

Pour mieux faire saisir les détails de cette importante machine, nous la reproduisons dans une seconde figure (173) vue de profil. La légende qui accompagne cette figure fait connaître les différentes pièces qui la composent, et dont nous avons tout à l'heure expliqué le jeu.

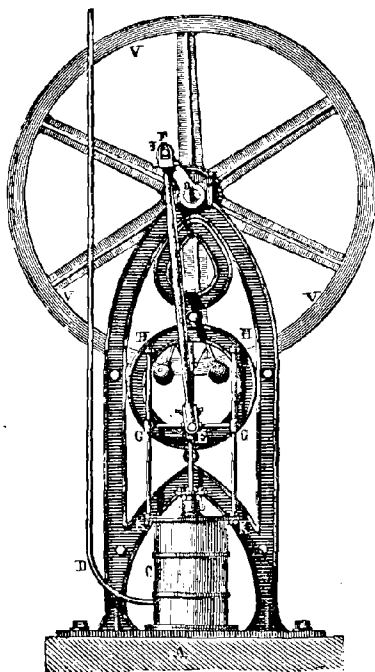


Fig. 172. Machine à vapeur verticale.

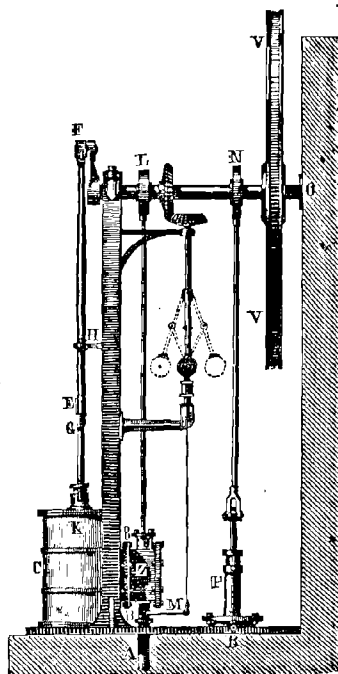


Fig. 173. Machine à vapeur verticale vue de profil.

A, tuyau de prise de vapeur; C, cylindre; B Z, boîte à vapeur et tiroir; C H K, glissière; E F J O, bielle, manivelle et arbre moteur; V V, volant; P, pompe alimentaire; D, tuyau d'échappement de la vapeur.

La *machine à condenseur* diffère de la précédente en ce qu'on ne projette pas dans l'air la vapeur sortant du cylindre, mais qu'on la dirige dans une caisse, ou bûche, remplie d'eau froide, à l'intérieur de laquelle elle se condense.

La figure 174 représente la machine à condenseur. *a* est l'entrée de la vapeur, qui passe successivement, par le jeu d'un *tiroir*, au-dessus et au-dessous du piston; *c* est le cylindre à vapeur; *d*, la tige de ce cylindre, qui vient mettre en mouvement le balancier *ee*; *g* est la manivelle du volant *v*: cette

manivelle transmet au volant le mouvement du balancier, et change en un mouvement circulaire continu le mouvement alternatif de ce balancier.

L'appareil de condensation de la vapeur au moyen de l'eau froide est placé dans l'intérieur de la caisse qui supporte la machine. *m* est le régulateur à boules ou à force centrifuge qui règle les quantités de vapeur admises dans le cylindre; *l*, la tige de la pompe alimentaire qui introduit dans la chaudière

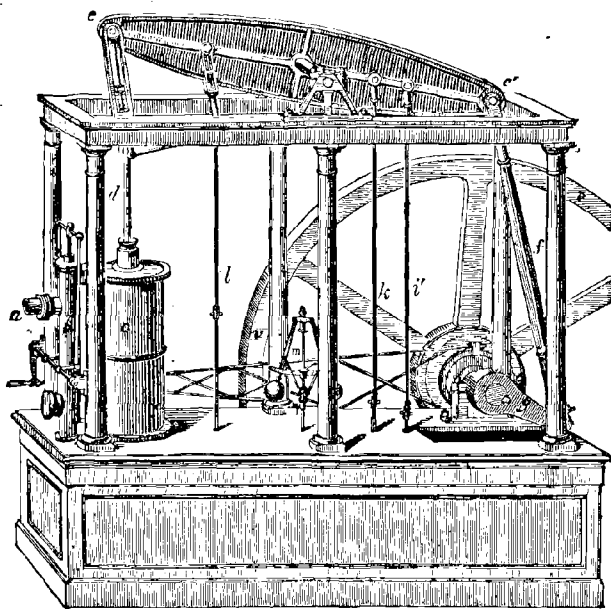


Fig. 174. Machine à vapeur à condenseur, ou machine de Watt.

de l'eau pour remplacer celle qui disparaît à l'état de vapeur; *k*, *i*, sont les tiges des pompes qui alimentent d'eau froide le condenseur, et évacuent au dehors l'eau échauffée par la condensation de cette vapeur.

Cette machine n'est autre chose que celle de Watt, car elle réunit tous les organes créés par le célèbre ingénieur anglais.

La figure 175, qui donne une coupe verticale de la machine à vapeur à condenseur dont la figure 174 présentait l'élévation, fera comprendre, grâce à la légende qui l'ac-

compagne, le rôle des principaux organes de cet appareil.

Nous mettrons maintenant (page 235) sous les yeux du lecteur la figure de la chaudière qui, dans les machines fixes, sert à produire la vapeur.

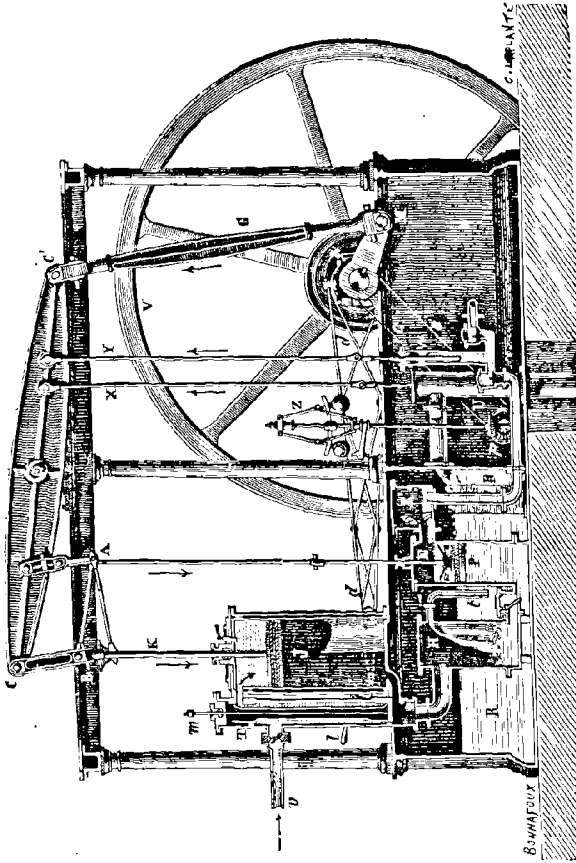


Fig. 175. Coupe d'une machine à vapeur à condenseur et à balancier.

J, cylindre à vapeur; K, tige du piston; C, balancier oscillant; I, tiroir pour l'admission successive de la vapeur au-dessus et au-dessous du piston dans le cylindre; G, bielle reliant en action l'arbre moteur, au moyen de l'articulation M; H, condenseur; E, P, pompe épuisant l'eau à mesure qu'elle s'échauffe dans le condenseur; Y, W, pompe alimentant d'eau la chaudière et tige de cette pompe; U, pompe alimentant d'eau la bache R; Z, régulateur de la quantité de vapeur admettant le tiroir d'admission de la vapeur.

G (fig. 176) est le corps de la chaudière; H, l'un des deux *bouilleurs*, c'est-à-dire l'une des deux chaudières plus petites qui sont placées au-dessous du corps de la chaudière principale. Les *bouilleurs* communiquent avec la chaudière principale par de gros tubes; ils ont pour fonction d'augmenter la surface offerte à l'action de la chaleur. F est le flotteur qui fait connaître au chauffeur la hauteur que l'eau occupe à l'intérieur de la chaudière; B est le niveau d'eau: c'est un tube de

verre communiquant avec l'intérieur de la chaudière, et qui, se remplissant d'eau à la même hauteur que celle de la chaudière, laisse voir la hauteur de l'eau dans son intérieur. C est

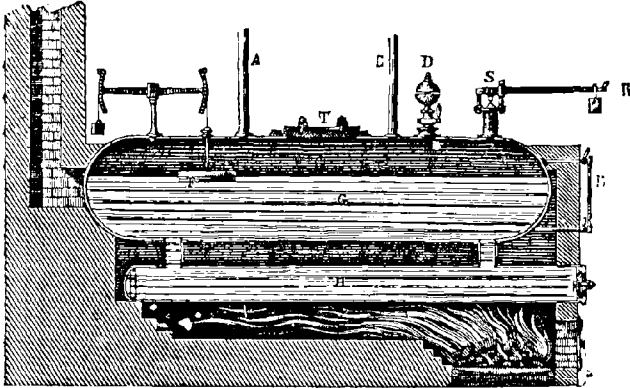


Fig. 176. Coupe verticale d'une chaudière à vapeur.

le tube de sortie de la vapeur se rendant au cylindre de la machine; A, le tube donnant entrée à l'eau liquide envoyée par la pompe d'alimentation pour remplacer celle qui disparaît sans cesse à l'état de vapeur. T est le *trou d'homme* par lequel l'ouvrier s'introduit pour visiter ou réparer l'intérieur de la chaudière. On voit suffisamment sur cette figure la marche de l'air chaud qui vient du foyer, et qui s'échappe dans le tuyau de cheminée après avoir circulé autour des parois extérieures de la chaudière. S est la *soupape de sûreté* à plaque mobile.

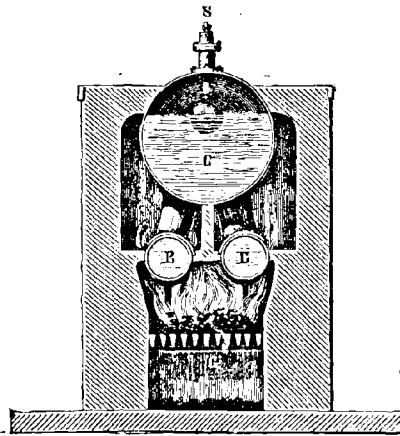


Fig. 177. Coupe verticale d'une chaudière.
C, corps de la chaudière; B B, bouilleurs; G, foyer.

La figure 177 donne une coupe verticale d'une chaudière à deux bouilleurs, et la figure 178 la vue extérieure et l'ensemble de la même chaudière.

Un mot sur les moyens ou organes qui servent à pré-

venir les explosions, dans les machines à vapeur fixes.

La *soupape de sûreté*, qui est, d'ailleurs, en usage dans toutes les machines à vapeur en général, consiste en un bouchon métallique qui ferme la chaudière et qui s'y trouve maintenu par un poids agissant à l'extrémité d'un levier horizontal. Le poids qui porte sur le bouchon métallique a été calculé de manière à être soulevé par l'effort de la vapeur, quand elle a acquis une puissance assez considérable pour inspirer des craintes quant à la solidité de la chaudière. Si la température

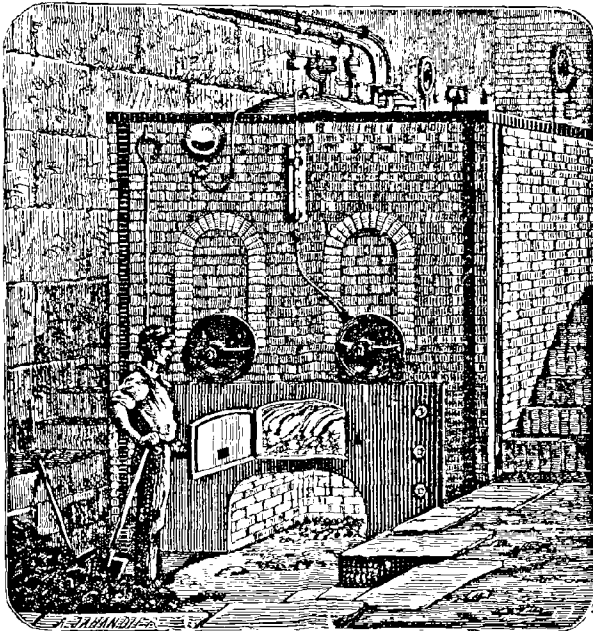


Fig. 178. Vue extérieure de la chaudière d'une machine à vapeur.

du foyer vient à s'élever trop, et que la vapeur vienne à acquérir ainsi une tension qui pourrait être dangereuse par la pression de cette vapeur, le bouchon métallique est soulevé, parce que le poids situé à l'extrémité du levier horizontal *CB* (fig. 179) ne peut soutenir cette pression. Dès lors, la chaudière étant ouverte en ce point, la vapeur se dégage librement dans l'air, et aucune explosion n'est à craindre. Quand la vapeur a été ramenée par cet écoulement partiel à sa tension normale, la soupape retombe sous la pression du poids *S*, et la chaudière se trouve refermée.

Cet organe si important pour la sécurité des machines à vapeur, c'est-à-dire la *soupape à poids*, fut imaginé par Denis Papin, en 1681, et appliqué par lui, en 1707, à une machine à vapeur, comme moyen de prévenir l'explosion de la chaudière.

Nous représentons à part, dans la figure 179, la soupape de sûreté, que l'on a déjà vue dans la coupe d'une chaudière à vapeur (fig. 176, page 235). P est le poids que l'on peut placer à volonté sur le trajet de la tige BC, comme sur une balance romaine, de manière à le faire agir par un bras de levier plus ou moins long ; C est le point d'articulation du levier, qui lui permet de se soulever

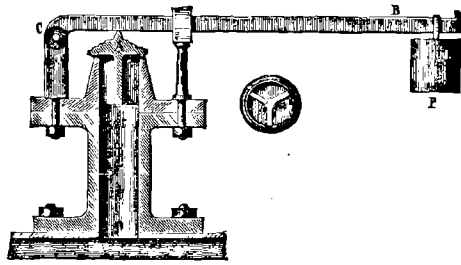


Fig. 179. Soupape de sûreté.

à l'occasion ; A, la soupape même, qui est pressée par le poids P ; D, le canal de communication avec la chaudière.

On a fait longtemps usage, comme soupape de sûreté, de rondelles en métal fusible, que l'on appliquait sur un point de la chaudière, et qui formaient comme une sorte de bouchon, capable d'entrer en fusion dans des conditions particulières. Quand la pression de la vapeur dépassait le terme que le constructeur avait assigné à la résistance de la chaudière, la vapeur d'eau, dont la température correspondait à cette pression, faisait fondre la soupape, et la chaudière étant ainsi ouverte, la vapeur trouvait une issue au dehors, ce qui écartait le danger.

Ce genre de soupape n'est plus en usage aujourd'hui, car il n'était pas possible de compter sur son fonctionnement régulier. D'ailleurs, le dégagement à l'extérieur de la vapeur de la chaudière, qui supprimait toute force motrice, n'était pas sans de graves inconvénients.

Nous représentons dans la figure 180 le *niveau d'eau*, qui était représenté par la lettre B sur la figure de la coupe verticale de la chaudière (fig. 176, p. 235). La coupe du tube fait comprendre que le niveau de l'eau vu de l'extérieur suffise pour déceler la hauteur de l'eau à l'intérieur de la chaudière.

Le *flotteur* n'a pas toujours la disposition qui est représen-

tée par la coupe verticale de la chaudière (fig. 176, p. 235). On en fait souvent un *flotteur d'alarme*, c'est-à-dire qu'on s'ar-

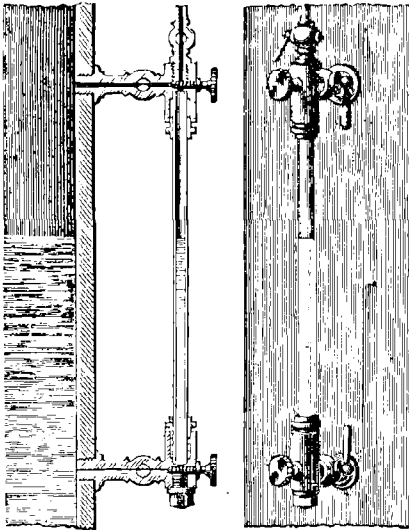


Fig. 180. Niveau d'eau.

range pour que le manque d'eau à l'intérieur de la chaudière soit signalé bruyamment par un coup de sifflet donné par la vapeur elle-même.

La figure 181 représente le *flotteur d'alarme*. La vapeur remplit toujours l'espace triangulaire AAA. Audessus de cet espace, est une clochette en laiton à parois minces, qui, lorsqu'elle est frappée par le courant de vapeur venant de l'eau de la chaudière,

fait entendre un sifflement aigu. Une soupape S, fermée par un ressort à boudin qui presse de haut en bas cette soupape,

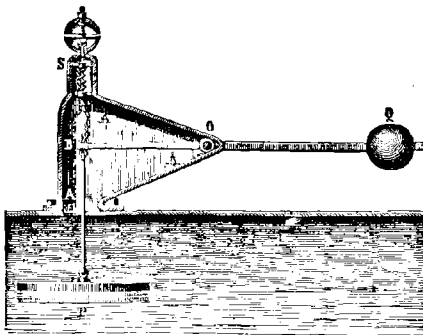


Fig. 181. Coupe de la partie supérieure d'une chaudière à vapeur avec le flotteur d'alarme.

ferme la chaudière en ce point; mais s'il arrive que le niveau de l'eau s'abaisse dans la chaudière, le flotteur P descend avec l'eau, et en tirant la chaîne BS, attachée à la soupape, il ouvre cette soupape, et laisse échapper au dehors la vapeur, qui fait entendre un sifflement

en rencontrant les parois aiguës de la clochette.

Un poids, Q, équilibre le bras de levier mobile, BO.



XVI

LES BATEAUX A VAPEUR

Histoire de l'application de la vapeur à la navigation. — Denis Papin. — Dickens. — L'abbé Gauthier. — Le marquis de Jouffroy. — Les constructeurs américains Miller et Simington. — Robert Fulton. — La navigation à vapeur aux États-Unis. — La navigation à vapeur en Europe. — Description des machines à vapeur appliquées à la navigation. — Moyens propulseurs : les roues à aubes; l'hélice. — Systèmes de machines à vapeur employés sur les bateaux à roues. — Systèmes de machines à vapeur employés sur les bateaux à hélice.

La machine à vapeur fixe une fois créée, l'industrie humaine a disposé d'un nouveau moyen de force, et elle n'a pas tardé à en tirer toutes les applications qu'un moteur peut recevoir. La machine à vapeur a été appliquée successivement à la navigation, à la locomotion sur les routes ferrées, enfin aux travaux de l'agriculture. Nous nous occuperons, dans ce chapitre, de l'application de la machine à la propulsion des bateaux.

L'emploi de la voile et des rames, comme moyen de navigation, présente, dans une foule de circonstances, de graves inconvénients. La voile et les rames assujettissent les navires à une marche lente et souvent pénible, retardée par les vents contraires, arrêtée par les calmes. Aussi a-t-on, de tout temps, désiré pouvoir disposer à bord des navires d'une force motrice propre, indépendante des éléments extérieurs ou du travail humain. Vers le milieu du siècle dernier, la découverte de la machine à vapeur vint apporter à la navigation le moteur

depuis si longtemps désiré. La machine à vapeur fixe était à peine créée, elle ne commençait que depuis peu d'années à fonctionner dans les usines, que, de tous les côtés, on cherchait à l'utiliser dans la navigation, afin de substituer à l'emploi de la rame ou des voiles le moteur puissant qui rendait déjà tant de services pour les travaux des ateliers. Cependant l'appropriation de la machine à vapeur à la propulsion des navires présentait dans la pratique beaucoup de difficultés, de sorte qu'un temps considérable s'écoula avant que l'industrie humaine parvint à appliquer avec sécurité et économie la puissance de la vapeur au service de la navigation sur les fleuves et les mers.

Denis Papin fut le premier qui osa songer à appliquer la force mécanique de la vapeur à la navigation. En 1707, nous l'avons déjà vu, il installait sur un bateau qui navigua sur la Fulda la première machine de navigation à vapeur, fruit du génie de l'homme.

En 1727, J. Dickens, en 1737, Jonathan Hulls, tous deux mécaniciens anglais, proposaient d'appliquer à la navigation la machine à vapeur telle qu'elle existait à cette époque.

Le même projet était mis en avant en France, en 1753, par l'abbé Gauthier, savant chanoine de Nancy.

Peu de temps après, en 1760, un ecclésiastique du canton de Berne, nommé Gênois, insista sur les avantages que présenterait la machine de Newcomen comme moyen de propulsion des bateaux.

Cependant la machine à vapeur telle qu'elle existait à la fin du dix-huitième siècle, c'est-à-dire la machine de Newcomen, était trop imparfaite pour pouvoir servir à cet usage.

En perfectionnant la machine à vapeur de Newcomen par l'invention du *condenseur isolé*, James Watt avait donné beaucoup de chances de réussite à l'emploi de la machine à vapeur dans la navigation. Le premier essai pratique de la navigation au moyen de la vapeur est dû à un Français, au marquis de Jouffroy, qui installa sur un bateau une machine à vapeur de Watt à simple effet.

Après plusieurs tentatives faites à Paris, en 1775, et continuées par lui en 1776, sur la rivière du Doubs, à Baume-les-Dames, le marquis de Jouffroy fit construire à Lyon, en 1780, un bateau à vapeur de 46 mètres de long. Le 15 juillet 1783, il fit, avec ce bateau, une expérience décisive sur les eaux de la

Saône. Le bateau navigua avec succès sous les yeux de dix mille spectateurs. Il était pourvu de deux roues que la vapeur faisait tourner.

Toutefois, cette importante tentative n'eut pas de suites sérieuses. Bien que née en France, l'application de la vapeur à la navigation demeura fort longtemps négligée dans notre pays.

En Amérique, deux constructeurs, John Fitch et James Rumsey, firent, de 1781 à 1792, de nombreuses recherches pour employer la vapeur comme moyen de propulsion sur les fleuves. Mais leurs efforts n'aboutirent à aucun résultat positif.

En Écosse, Patrick Miller, James Taylor et William Siming-

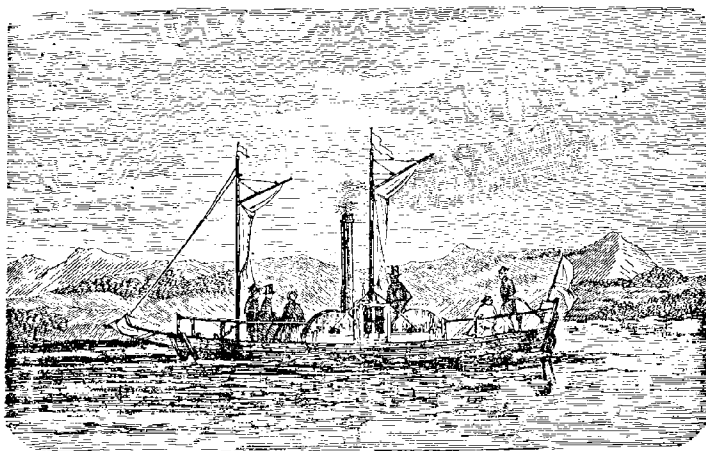


Fig. 182. Bateau à vapeur de Patrick Miller.

ton s'efforcèrent, en 1787, d'atteindre le même but, mais ils échouèrent également dans leurs tentatives.

Le petit bateau à vapeur de Miller, Taylor et Simington est représenté sur la figure 182. Dans la machine, composée de deux cylindres verticaux, la force de la vapeur était transmise au moyen de deux chaînes de fer, à deux roues placées aux flancs de l'embarcation. Ce bateau à vapeur fut essayé sur une pièce d'eau appartenant à Patrick Miller ; mais les effets que l'on obtenait de la vapeur ne parurent pas supérieurs à ceux fournis par la force de l'homme, et les trois ingénieurs écossais abandonnèrent cette tentative.

• C'est à Robert Fulton, ingénieur américain, né dans le comté de Lancastre (État de Pensylvanie), qu'appartiennent le

mérite et la gloire d'avoir créé, dans ses conditions pratiques, la navigation par la vapeur.

Fils de pauvres émigrés irlandais, d'abord apprenti chez un joaillier de Philadelphie, le jeune Fulton, doué de quelques talents pour le dessin et la peinture, avait tiré de son pinceau ses premiers moyens d'existence. A l'âge de vingt ans, il était peintre en miniature à Philadelphie. En 1786, il partit pour l'Europe, et se rendit en Angleterre. Mais son goût pour la mécanique se développant de plus en plus, il abandonna sa profession de peintre et se fit ingénieur.



Fig. 183. Robert Fulton.

Pendant un séjour de quinze années en Europe, tant en Angleterre qu'en France, Fulton se distingua par un grand nombre d'inventions mécaniques d'un ordre varié. Mais le problème de la navigation par la vapeur, qu'il commença à aborder en 1786, fut le but principal de ses travaux.

Par ses persévérantes recherches, par l'étude approfondie à laquelle il se livra des causes qui avaient empêché le succès des tentatives de ses nombreux devanciers, Robert Fulton parvint à réussir là où tant d'autres avaient échoué. Au mois d'août 1803, un bateau à vapeur, construit par lui, fut essayé sur la Seine, en plein Paris.

Cependant Fulton, n'ayant pas trouvé en Europe les encouragements qu'aurait dû rencontrer son invention, retourna en

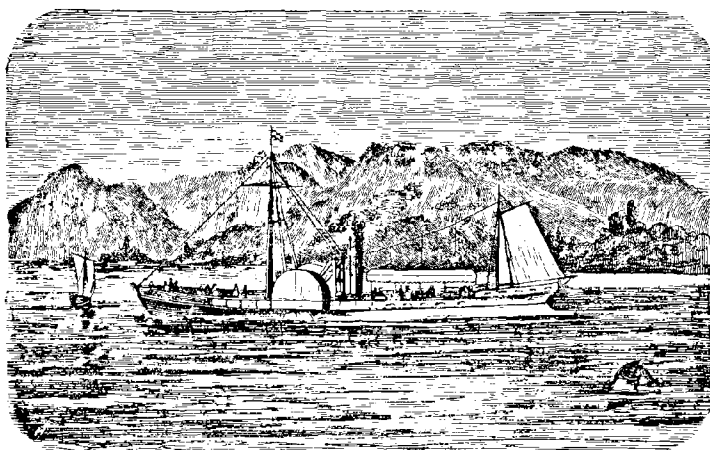


Fig. 184. *Le Clermont*, premier bateau à vapeur, construit par Fulton, en Amérique, en 1807.

Amérique, après avoir pris toutes les dispositions nécessaires pour doter son pays de cette grande découverte

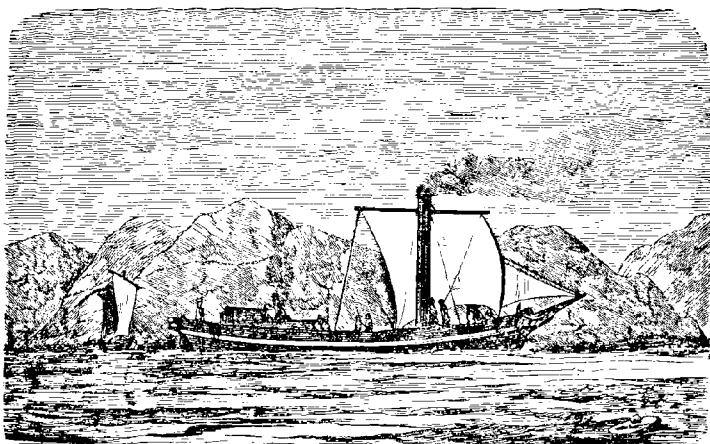


Fig. 185. *La Comète*, de Henry Bell, premier bateau à vapeur construit dans la Grande-Bretagne.

Le 10 août 1807, *le Clermont*, grand bateau à vapeur construit par Robert Fulton, fut lancé sur la rivière de l'Est, à New-York. Ce bateau, qui représentait les dispositions méca-

niques les mieux entendues, décida l'adoption de la navigation par la vapeur aux États-Unis. Dans les divers États de l'Union américaine, la marine à vapeur prit bientôt un grand développement, sous l'inspiration et grâce aux efforts continuels de Robert Fulton, qui mourut à New-York, en 1815, léguant à son pays la cause la plus puissante de sa prospérité.

L'Europe ne tarda pas à profiter de la découverte de Fulton. En 1812, un constructeur, Henry Bell, établissait sur la Clyde, en Écosse, le premier bateau à vapeur qui ait fait un service régulier en Europe : c'était *la Comète* (fig. 183), construite à l'imitation du bateau de Fulton.

De la Grande-Bretagne, la navigation par la vapeur ne tarda pas à se répandre dans le reste de l'Europe. Vingt ans après ses modestes débuts en Écosse, la marine à vapeur avait pris chez toutes les nations un développement immense. Les fleuves et les rivières du continent se couvraient de bateaux à vapeur, et bientôt toutes les mers du globe en étaient sillonnées. Aujourd'hui la marine à vapeur tend à faire disparaître entièrement la marine à voiles, par suite des avantages pratiques, de l'économie et de la rapidité qui sont propres à ce genre de moteur.

Les machines à vapeur consacrées au service de la navigation varient, dans leur système, selon le moyen de propulsion adopté. Il est donc nécessaire, avant de parler des systèmes de machines à vapeur employés dans la navigation, de dire quelques mots des agents propulseurs.

Deux moyens mécaniques très différents sont en usage pour la propulsion des bateaux à vapeur : les *roues à aubes* et l'*hélice*.

L'emploi, dans la navigation, des *roues à aubes* ou à *palettes*, remonte à une époque très ancienne. On trouve dans quelques écrivains romains la description de roues à aubes, mues par des bœufs, et qui fonctionnaient sur des radeaux ou des embarcations. Papin, sur son bateau de 1707, faisait usage de deux roues à aubes, comme moyen propulseur. Le bateau à vapeur du marquis de Jouffroy, à Lyon, avançait au moyen de roues semblables. Fulton adopta sur ses bateaux l'usage des roues motrices, et depuis on les a très longtemps employées d'une manière exclusive sur les bateaux et les navires à vapeur.

L'*hélice* est d'une invention beaucoup plus récente. En 1752,

Le mathématicien Daniel Bernoulli parla le premier d'appliquer aux navires un moteur de forme hélicoïde. En 1768, Paucton, ingénieur français, proposait de remplacer par des hélices les rames des navires.

En 1803, un mécanicien natif d'Amiens, Charles Dallery, avait adapté deux hélices à un petit bateau qu'il avait commencé à construire sur la Seine, à Paris, afin d'essayer de résoudre le problème de la navigation par la vapeur ; mais les fonds lui manquèrent pour pousser plus loin cette tentative.

Beaucoup de mécaniciens, tant en France qu'en Angleterre, se sont occupés, après Dallery, de substituer l'hélice aux roues à aubes, dans la navigation par la vapeur. C'est un Français, le capitaine du génie Delisle, qui a démontré avec le plus d'évidence, par des considérations théoriques, la supériorité de l'hélice sur les roues à palettes.

En Angleterre, les constructeurs Smith et Rennie ont fait les premières expériences heureuses avec une hélice substituée aux roues à aubes.

La disposition actuelle de l'hélice, c'est-à-dire l'hélice simple à une seule révolution, a été essayée et proposée par un constructeur de Boulogne, Frédéric Sauvage. Malheureusement, notre compatriote ne put parvenir à exécuter ses essais sur une échelle suffisante.

Frédéric Sauvage est mort en 1857, à Paris, dans une maison d'aliénés. Détenu à Boulogne, dans la prison pour dettes, il assistait, de sa fenêtre, aux expériences que faisait dans ce port le commandant du *Ruttler*, navire anglais construit à Londres, pour essayer le système de l'hélice simple que Sauvage avait lui-même imaginé. Ce spectacle, si déchirant pour un inventeur, ébranla sa raison.

Le premier bateau à vapeur français à hélice a été construit au Havre, en 1843, par Normand. Depuis cette époque, l'hélice n'a cessé de prendre faveur dans notre marine. Aujourd'hui, chez toutes les nations maritimes du monde, elle a presque entièrement détrôné les roues motrices. Toutefois, dans les paquebots à vapeur qui font le service sur les rivières et sur les fleuves, on substituerait difficilement l'hélice aux roues à aubes, de telle sorte que l'on peut dire, pour résumer ce qui précède, que l'hélice est aujourd'hui le moyen propulseur pour la navigation maritime, et que les roues à palettes

sont le moyen propulseur qui reste affecté à la navigation à vapeur sur les fleuves et les rivières.

L'hélice en usage aujourd'hui n'est qu'à un seul tour de spire. Elle est installée au-dessous de la ligne de flottaison du navire, comme le montre la figure 186. Mise en mouvement

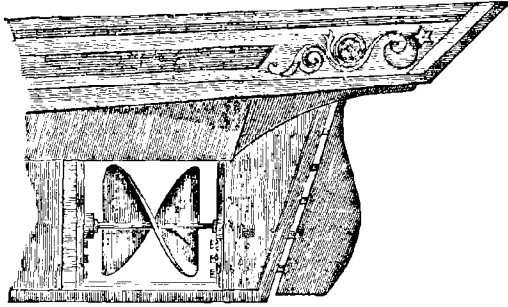


Fig 186. Hélice d'un bateau à vapeur.

par l'arbre de la machine à vapeur, grâce à un renvoi de mouvement, elle produit l'effet des rames, et fait progresser le vaisseau par l'impulsion réactive qu'elle communique au liquide au milieu duquel elle tournoie avec une rapidité prodigieuse.

La figure 187 montre la disposition et l'aménagement de l'hélice sur un bateau à vapeur.

Nous avons dit que le système de machine à vapeur employé dans la navigation diffère selon que le bateau est pourvu de roues ou d'une hélice.

Le type de machines à vapeur le plus souvent employé aujourd'hui pour mettre en action les bateaux à roues, c'est la machine à condenseur, telle à peu près que Watt l'a établie. Nous avons décrit, en parlant des machines fixes, la machine à condenseur ou machine de Watt (fig. 174 et 175, pp. 233 et 234). La machine à condenseur qui met en action les roues motrices des bâtiments ressemble, dans toutes ses parties essentielles, à la machine à condenseur qui fonctionne dans nos ateliers et nos usines. Elle n'en diffère que par quelques dispositions secondaires que l'on est forcé d'adopter pour ménager l'espace dans l'installation de ce volumineux mécanisme à bord d'un navire.

La figure 188 fait comprendre les éléments de cette machine. M est le cylindre dans lequel la vapeur venant de la chaudière s'introduit par le tuyau courbe, A, et le tiroir, S. HH' est le balancier, que l'on place, par un renvoi de mou-

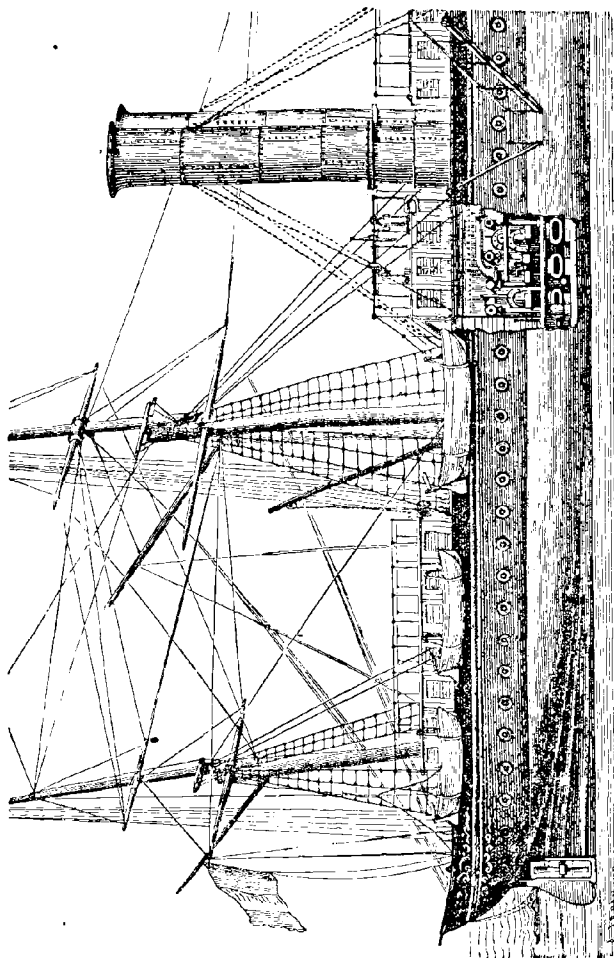


Fig. 187. Disposition et aménagement de l'hélice sur un bateau à vapeur.

vement, au bas de l'appareil, pour économiser la place. A cet effet, la tige du piston attachée à une bielle articulée, B, se brisant derrière le cylindre à vapeur, M, vient s'articuler à l'extrémité H du balancier, au-dessous du cylindre à vapeur. L'autre extrémité, H', du même balancier, fait tourner l'arbre

moteur MM, auquel sont attachées les roues NN, du navire. D est le condenseur, Q la tige de la pompe qui extrait l'eau chaude de ce condenseur. EF est l'excentrique qui manœuvre le tiroir, en recevant son mouvement de l'arbre moteur M.

Sur les bateaux à roues on fait quelquefois usage, au lieu de la machine de Watt, dont le cylindre est vertical, de la

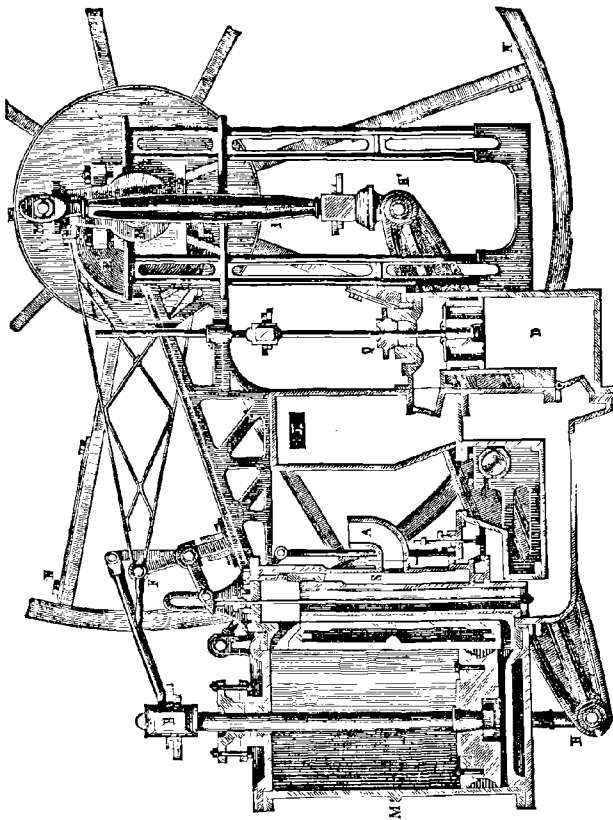


Fig. 188. Coupe d'une machine à vapeur marine à condenseur et à balancier.

machine à cylindre horizontal, dont le mécanisme est plus simple en ce qui concerne le renvoi du mouvement.

Pour fixer les idées par un exemple concernant le mécanisme moteur en usage sur les bateaux à vapeur à roues, nous représentons (fig. 189) l'ensemble de la machine du bateau à vapeur français *le Sphinx*, qui est mû par des roues à aubes ¹.

1. On voit au Musée de la Marine, au Louvre, un petit modèle en fer de la machine du *Sphinx*.

Dans les machines à vapeur marines, le balancier qui fait mouvoir les roues à aubes est placé au-dessous du cylindre, au lieu de s'élever au-dessus, comme dans les machines fixes des usines. Cette disposition était inévitable par suite de la situation de l'arbre moteur et de l'axe des roues, qui

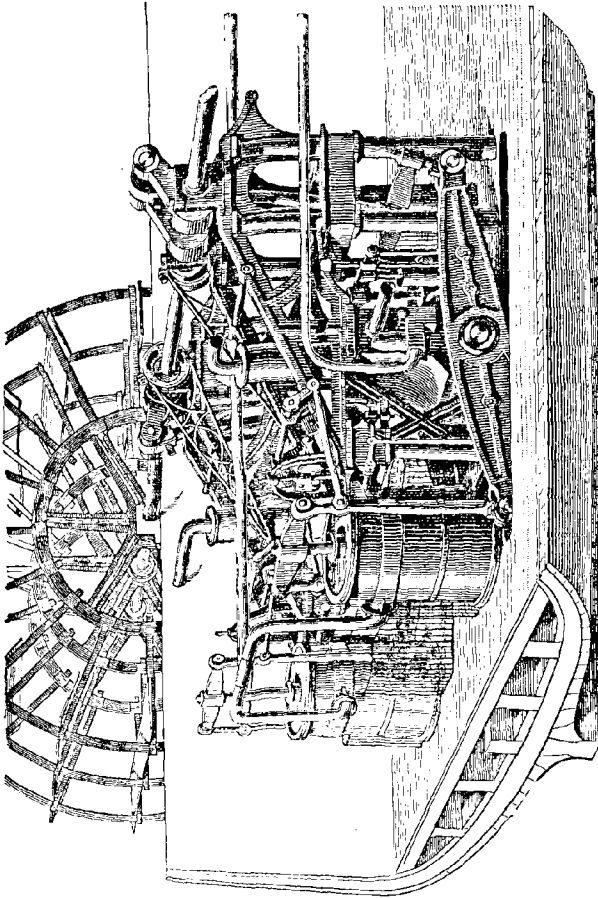


Fig. 189. Machine à vapeur à balancier et à condenseur du navire français à roues le *Sphinx*.

doivent être placés tous deux en un point élevé du navire.

On voit, sur la figure 189, comment l'arbre moteur des roues est relié au mécanisme mis en action par la vapeur. L'arbre moteur qui porte les roues est coudé en deux points, de manière à former deux manivelles à angles droits, lesquelles sont tour à tour poussées par le piston d'un des deux cylindres à vapeur.

Les cylindres qui reçoivent la vapeur sont disposés verticalement. Comme les cylindres à vapeur sont d'énorme dimension, pour guider le piston on l'entoure de deux tiges parallèles qui s'articulent avec la bielle.

Quand l'agent propulseur d'un navire à vapeur est l'hélice, la machine de Watt n'est pas employée, parce qu'elle ne saurait fournir commodément l'énorme vitesse qu'il faut imprimer à une hélice tournant au sein de l'eau. On fait usage de systèmes particuliers de machines dans lesquelles la force de la vapeur agit directement sur l'arbre tournant de l'hélice. Sans entrer dans des détails qui nous entraîneraient trop loin, nous nous bornerons à dire que l'on fait usage dans ce but : 1° de machines à vapeur à cylindre horizontal ; 2° de machines à deux cylindres inclinés, agissant sur le même arbre et conformes au type des locomotives.

Un mot sur les chaudières marines.

Et d'abord signalons une particularité de ces chaudières, qui les différencie de celles des machines fixes. Les chaudières des machines à vapeur marines sont naturellement alimentées par l'eau de mer. Mais cette eau renferme une quantité considérable de sels, puisque un litre d'eau de l'Océan renferme 32 grammes de matières salines, et un litre d'eau de la Méditerranée, 43 grammes. Au bout d'un certain temps de concentration de l'eau, il se fait, par suite de l'ébullition, un dépôt de sel très abondant. Comme ce dépôt salin encroûterait la chaudière et rendrait l'évaporation impossible, on est obligé de rejeter de temps en temps l'eau chargée de sel et de la remplacer par de nouvelle eau.

On appelle *faire l'extraction*, dans les bateaux à vapeur, l'opération qui consiste à évacuer, à peu près d'heure en heure, l'eau chargée de sel qui se trouve dans le générateur. Une pompe nommée *pompe à saumure*, mue par la vapeur, va puiser l'eau à la partie inférieure de la chaudière, là où se sont déposés les sels.

Nous devons ajouter que depuis quelques années on alimente les chaudières marines avec de l'eau pure, au lieu d'eau de mer. On condense une partie de la vapeur provenant de la chaudière, on recueille cette eau distillée, et on la renvoie au générateur. Comme cette eau est extrêmement pure, qu'elle

ne contient aucune trace de sel, il n'y a plus aucun dépôt salin dans la chaudière, et par conséquent il n'y a plus à faire d'*extraction*.

Quant à leur construction, les chaudières des machines à vapeur marines diffèrent sensiblement de celles des machines fixes. Comme on ne dispose que d'un petit espace à bord du navire, il faut produire le plus de vapeur possible sous le même volume.

Les *chaudières tubulaires*, ou *chaudières à retour de flamme*, sont seules en usage à bord des navires à vapeur. On appelle *chaudières tubulaires* celles dans lesquelles l'eau est contenue

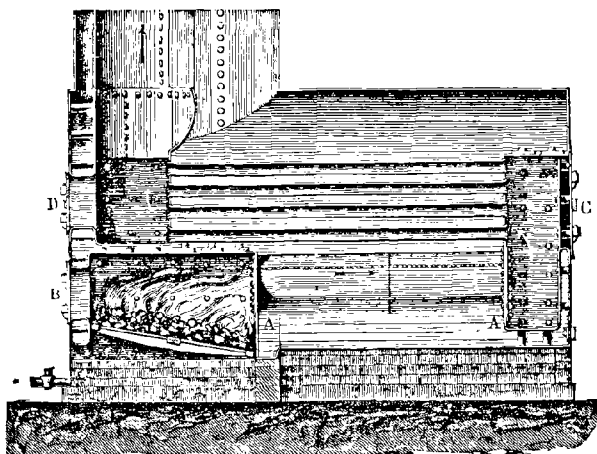


Fig. 190. Coupe d'une chaudière tubulaire marine.

dans de petits tubes entourés de toutes parts par le combustible ou par les gaz provenant de la combustion. Grâce à la multiplication des surfaces de chauffe, une masse énorme de vapeur est produite dans un temps très court.

Les dispositions des chaudières tubulaires adoptées pour les machines marines varient beaucoup. La figure 190 représente un modèle de chaudière assez souvent exécuté.

Les gaz du foyer chauffent d'abord un corps de chaudière AA; ils traversent ensuite l'intervalle de quatre gros tubes pleins d'eau. Après avoir circulé entre ces tuyaux et échauffé l'eau qu'ils contiennent, les gaz et la fumée s'échappent dans le tuyau de la cheminée, D.

Nous donnons ici, comme un autre type assez souvent adopté (fig. 191), une coupe des chaudières du navire à vapeur français *l'Isly*.

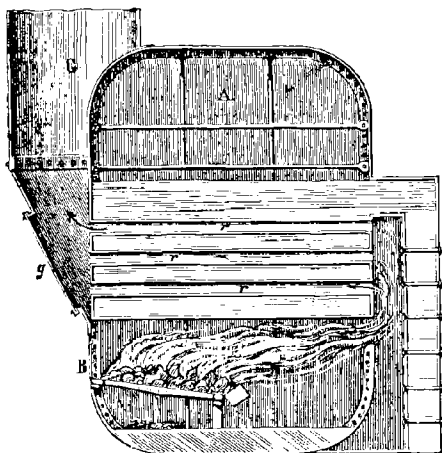


Fig. 191. Coupe de l'une des chaudières du navire à vapeur *l'Isly*.

Le foyer, placé en B, est tout entouré d'eau. La fumée et les produits de la combustion traversent les tubes *rrr*, pour se rendre dans le tuyau de la cheminée G.

Comme la masse à mettre en mouvement est énorme, on ne pourrait se contenter, sur un navire, d'une seule chaudière pour produire la vapeur.

Ne pouvant accroître la hauteur de l'eau dans la chaudière, on augmente le nombre des chaudières. Il y a donc, sur les navires à vapeur, au moins

deux chaudières accolées l'une à l'autre, et souvent quatre, ayant par conséquent quatre foyers différents.

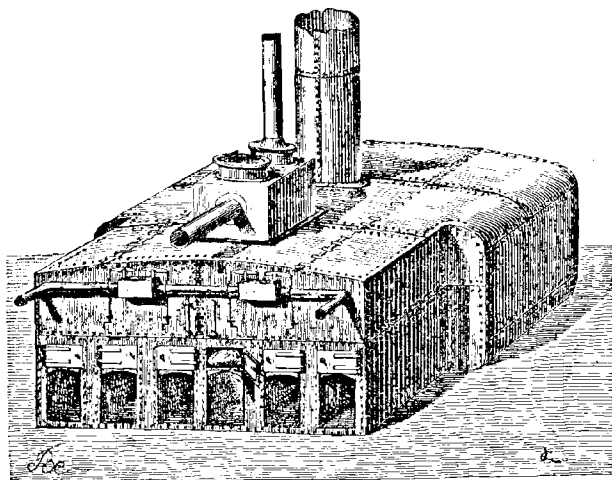


Fig. 192. Vue d'ensemble des chaudières du navire à vapeur *le Sphinx*.

deux chaudières accolées l'une à l'autre, et souvent quatre, ayant par conséquent quatre foyers différents.

La figure 192 donne la vue d'ensemble des chaudières du *Sphinx*, navire français.

On se fait difficilement une idée de la puissance des machines à vapeur marines. Prenons pour exemple la machine de l'énorme bâtiment cuirassé français, le *Friedland*. Le diamètre intérieur des cylindres à vapeur de ce navire est de plus de deux mètres, de sorte que la pression de la vapeur s'exerce sur une surface de près de trois mètres carrés et demi pour chaque piston. Cela donne, en supposant que la vapeur ait 2 atmosphères seulement de puissance, une pression de 90,000 kilogrammes sur chaque piston.

L'hélice du *Friedland* a 6 mètres de diamètre. Aussi la vitesse de ce navire, malgré son énorme dimension et le poids de sa masse, est-elle, en temps calme, de 14 nœuds et demi, ce qui équivaut à une vitesse de sept lieues de quatre kilomètres à l'heure.

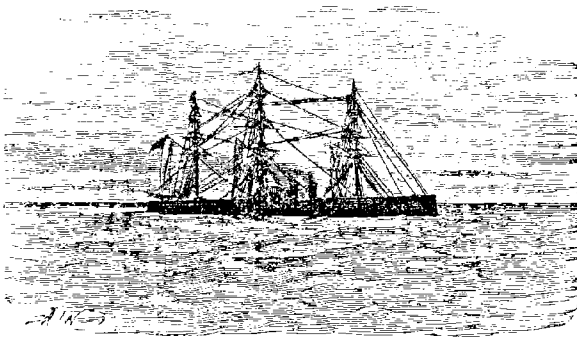


Fig. 193. Un steamer transatlantique.

XVII

LA LOCOMOTIVE ET LES CHEMINS DE FER

Historique. — Joseph Cugnot. — Olivier Evans. — Trevithick et Vivian. — Origine des chemins de fer actuels. — Chemins à rails de bois dans les mines et les manufactures de l'Angleterre. — Découverte du fait de l'adhérence des roues sur les rails de fer. — Concours de locomotives à Liverpool, en 1830. — Découverte des chaudières tubulaires par Seguin aîné. — Description de la machine à vapeur dite locomotive. — Les chemins de fer. — Construction d'une voie ferrée. — Tunnels. — Tranchées. — Viaducs. — Wagons. — Freins. — Signaux, etc.

C'est la découverte des machines à vapeur à haute pression qui a rendu possible la construction des locomotives et leur emploi pour trainer les convois les plus lourds sur des routes pourvues de rails en fer. Dès que la machine à vapeur fut en usage dans les ateliers et les usines, on chercha à utiliser cette force mécanique pour la traction des véhicules. On fit, dès cette époque, c'est-à-dire à la fin du siècle dernier, des essais pour construire des *voitures à vapeur* roulant sur les routes ordinaires.

Dès l'année 1769, Planta, officier suisse, avait proposé d'appliquer la machine à vapeur à la traction des véhicules sur les routes. Un ingénieur français, né à Void, en Lorraine, Joseph Cugnot, poussa plus loin ce projet ; car il construisit un chariot à vapeur, qui fut expérimenté en 1770, en présence de M. de Choiseul, ministre de Louis XV, et du célèbre général de Gribeauval, l'un des créateurs de l'artillerie moderne. Mais la machine à vapeur, telle qu'elle existait à cette époque, ne pouvait en aucune manière s'appliquer à cet usage, car la quantité d'eau que l'on pouvait admettre sur le chariot étant

très peu considérable, il aurait fallu s'arrêter tous les quarts d'heure, pour renouveler la provision d'eau de la chaudière.

La figure 194 représente le *chariot à vapeur* de Cugnot, qui existe encore au Conservatoire des arts et métiers de Paris. La chaudière, A, munie de son fourneau, F, est placée à la partie antérieure. La vapeur fournie par cette chaudière se rend, au

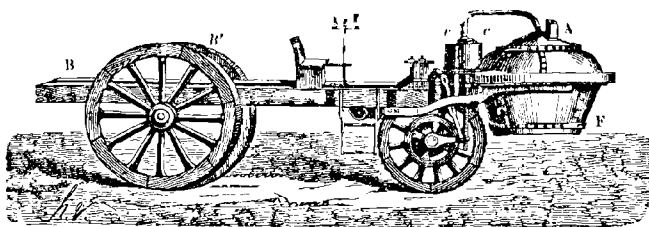


Fig. 194. Chariot à vapeur construit par Cugnot en 1770.

moyen d'un tube, dans deux cylindres, *cc*, dont les pistons viennent agir sur les deux roues antérieures du char lesquelles sont seules motrices et entraînent les deux roues postérieures, B, B'.

Le frottement énorme des roues contre le sol, qui aurait opposé trop de résistance à la force motrice, et la grossière disposition de la chaudière à vapeur dont l'eau ne se renouvelait jamais, devaient empêcher la réussite de ce massif et primitif engin de locomotion par la vapeur.

Ces premiers essais ne pouvaient aboutir à un résultat utile que par le perfectionnement des machines à vapeur, c'est-à-dire par la découverte des machines à haute pression.

En Amérique, Olivier Evans, l'inventeur de la machine à vapeur à haute pression, s'occupa, vers 1790, de construire des voitures à vapeur marchant sur les routes ordinaires, à l'aide d'une machine à haute pression : mais il n'obtint aucun résultat pratique.

C'est en Angleterre que l'on réussit, pour la première fois, à retirer quelques avantages de l'emploi de la vapeur dans la locomotion. Trevithick et Vivian, constructeurs de machines dans le comté de Cornouailles, eurent le mérite de cette première tentative.

Si Trevithick et Vivian obtinrent le succès qui avait manqué en 1790 à Olivier Evans, c'est qu'après avoir échoué, comme

leur prédécesseur, dans le projet de lancer les voitures à vapeur sur les routes ordinaires, ils eurent l'heureuse idée d'appliquer leur machine locomotive sur les chemins à rails de fer qui étaient en usage dès cette époque dans plusieurs manufactures et mines de l'Angleterre.

Sur les routes ordinaires, beaucoup d'obstacles nuisent à la rapidité de la marche des voitures. Les roues éprouvent une grande résistance, par le frottement considérable qu'elles exercent contre le sol. Si le sol est sablonneux ou caillouteux, il présente des inégalités de niveau qui font perdre une partie de la force motrice à surmonter ces petites pentes accidentelles; enfin, les ornières du chemin opposent des difficultés à la régularité de la marche.

Pour diminuer le plus possible la résistance que présente le sol inégal des routes, les Romains avaient imaginé de paver en pierre unie et très dure les parties des voies publiques les plus fréquentées. Mais ce pavage était dispendieux, et il ne fut employé chez les anciens que dans de rares circonstances.

Vers le dix-septième siècle, on commença à faire usage, en Angleterre, pour les travaux des mines, d'ornières de bois disposées le long des routes, afin de diminuer le frottement des roues. On posait sur le sol des madriers en ligne non interrompue, formant une sorte d'ornière, dans l'intérieur de laquelle circulaient les roues des chariots garnies à cet effet d'un rebord, pour les maintenir constamment dans l'ornière de bois.

Comme la résistance du bois n'est pas considérable, ces ornières artificielles s'usaient promptement. On prit le parti de les remplacer par des ornières en fonte. Plus tard, enfin, grâce à la diminution du prix du fer, ce métal fut substitué à la fonte. C'est vers l'année 1789 qu'eut lieu cette heureuse substitution.

Les *chemins à ornières de fer* furent en usage, à partir de cette époque, à l'intérieur de beaucoup de mines et manufactures de l'Angleterre. La traction des chariots, ou *wagons*, se faisait par des chevaux.

C'est en 1804 que les constructeurs Trevithick et Vivian eurent l'idée de remplacer les chevaux, sur les chemins de fer des mines, par leur locomotive à vapeur, qu'ils avaient vainement essayé de lancer sur les routes ordinaires. Placée

sur des rails, cette machine à vapeur mobile put traîner, outre son propre poids, quelques wagons chargés de houille.

La figure suivante représente la locomotive de Trevithick et Vivian. Au milieu est la chaudière, qui envoie sa vapeur dans deux cylindres placés obliquement au-dessus des roues antérieures, lesquelles sont seules motrices. Le foyer est contenu dans le même corps cylindrique qui enveloppe et cache la chaudière.

Quelques mines de houille adoptèrent ces premières locomotives sur leurs *railways*.

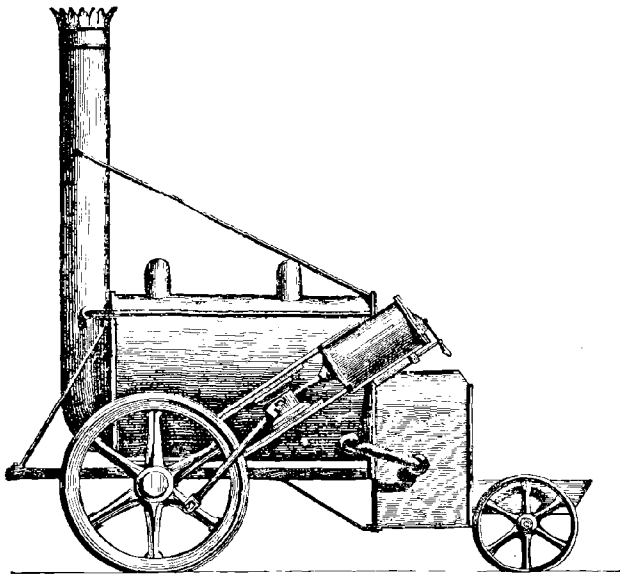


Fig. 195. Première locomotive construite en Angleterre par Trevithick et Vivian.

Une découverte capitale fut faite en 1813. Un ingénieur anglais, Blacket, constata que, quand le poids d'une locomotive est considérable, ses roues ne glissent point sur la surface du rail. Cet ingénieur reconnut, par l'expérience, que, grâce aux aspérités qui existent toujours sur la surface d'un rail, quelque poli qu'il soit, les roues peuvent y prendre un point d'appui, qui leur permet d'avancer. On avait pensé jusque-là que les surfaces de la roue et du rail étant extrêmement polies l'une et l'autre, les roues devaient tourner sur place, ou du moins n'avancer sur le rail qu'en perdant par le

glissement, ou le *patinement*, une quantité énorme de force. Les expériences de Blacket démontrèrent qu'en donnant à la locomotive un poids de plusieurs tonnes, on peut triompher de ce glissement, et ne perdre, par le patinement de la roue, qu'une petite quantité de force.

Cette découverte eut pour résultat de donner de la faveur aux locomotives qui étaient alors en usage sur les routes ferrées, à l'intérieur des mines et aux alentours des manufactures. En 1812, le constructeur anglais George Stephenson construisit une locomotive (fig. 196) qui fonctionna avec un certain avantage sur les chemins de fer des usines de Killingworth.

Mais la découverte qui provoqua subitement, on peut le dire, la création de la locomotive, est due à un ingénieur français,

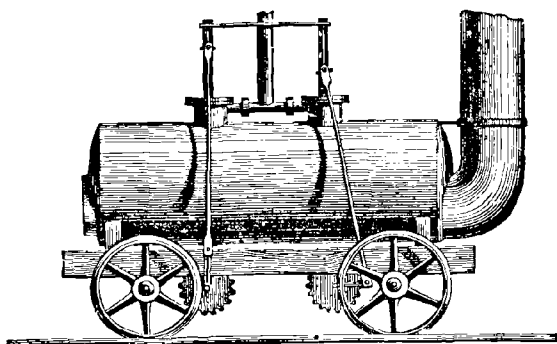


Fig. 196. Locomotive construite par George Stephenson en 1812.

Seguin aîné, d'Annonay. En 1829, Seguin aîné construisit la première *chaudière à tubes*, forme particulière de chaudière à vapeur dans laquelle la surface de chauffe, étant extraordinairement étendue, permet de produire dans un temps donné une quantité prodigieuse de vapeur.

La figure 197, qui montre la coupe d'une chaudière dite *tubulaire*, fait comprendre les avantages de cette disposition pour produire une grande quantité de vapeur avec une faible masse de liquide. F est le foyer. Pour s'échapper dans le tuyau de la cheminée, C, la fumée et les gaz provenant de la combustion sont forcés de traverser des tubes étroits longitudinaux placés dans le corps de la chaudière, A. L'eau occupe l'intervalle de ces tubes. Présentant ainsi une surface considérable à l'action de la chaleur, l'eau contenue dans ces tubes entre promptement

ment en ébullition, et produit une énorme quantité de vapeur, dans un intervalle de temps très court. Et comme la force d'une machine à vapeur dépend de la quantité de vapeur que peuvent recevoir ses cylindres, on voit que la chaudière dite *tubulaire* doit être d'un puissant secours pour augmenter la force d'une machine à vapeur.

L'emploi des chaudières tubulaires sur les locomotives accrut extraordinairement la puissance de cet appareil moteur.

En 1830, eut lieu, à Liverpool, en Angleterre, le célèbre concours de locomotives, qui détermina la création des chemins de fer européens. On avait d'abord résolu de faire circuler les convois sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, au moyen de machines à vapeur fixes qui, échelon-

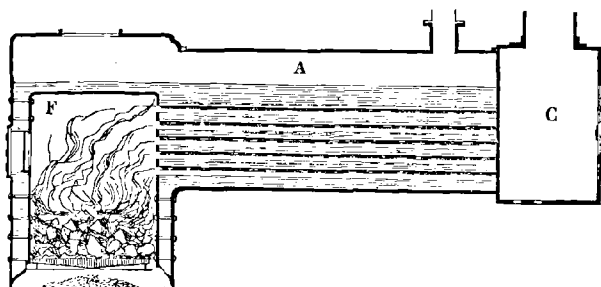


Fig. 197. Coupe d'une chaudière tubulaire.

nées sur la voie, auraient tiré les wagons par des chaînes ou des cordes; mais les directeurs du chemin de fer de Liverpool à Manchester décidèrent d'essayer, pour le service de ce chemin, l'usage des locomotives. Ils ouvrirent donc un concours public, où tous les constructeurs de l'Angleterre furent invités à présenter des modèles de locomotives.

Le prix fut décerné à la locomotive *la Fusée*, de George et Robert Stephenson.

La figure 198 représente *la Fusée* de George et Robert Stephenson.

Marc Seguin avait acheté et fait venir à Saint-Étienne, pour le chemin de fer des mines de Saint-Étienne, deux modèles de locomotive du type de *la Fusée*. Il adapta à cette locomotive sa chaudière tubulaire, et produisant une masse énorme

de vapeur, il réalisa une vitesse infiniment supérieure à celle que Stephenson avait obtenue de *la Fusée*, qui était pourvue, comme on le voit sur la figure 198, d'une chaudière ordinaire.

Il serait donc juste de rapporter la plus grande part de la gloire de la création de la locomotive à notre compatriote Marc Seguin, inventeur de la chaudière tubulaire.

Marc Seguin, mort en 1875, était, d'ailleurs, un ingénieur du plus rare mérite. C'est à lui que l'on doit la création du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, sans parler de la construction des ponts suspendus dont il dota la France et l'Europe.

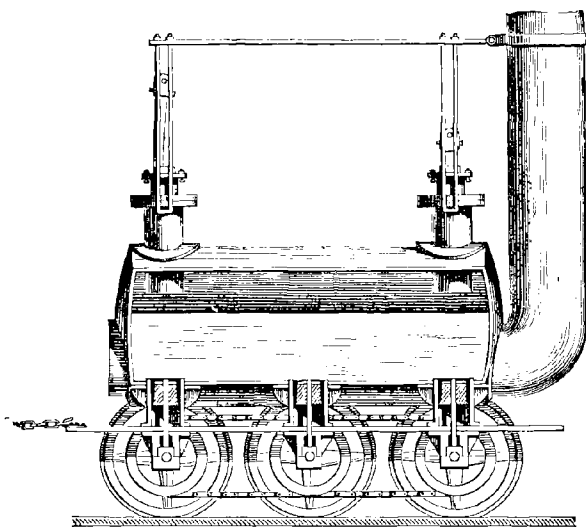


Fig. 198. *La Fusée*, locomotive de George et Robert Stephenson.
(Coupe de la chaudière.)

Quant à George Stephenson, c'était un des plus habiles ingénieurs-constructeurs de la Grande-Bretagne. Son fils, Robert Stephenson, devait continuer les travaux et la gloire de son père.

En résumé, les noms de Marc Seguin et de George Stephenson doivent rester indissolublement unis dans l'histoire de la découverte de la machine locomotive.

Les locomotives du chemin de fer de Manchester à Liverpool furent construites, à partir de 1832, sur le modèle de *la Fusée* pourvue de la chaudière tubulaire de Seguin. Les avantages de ce système de locomotion se manifestèrent dès lors avec une telle évidence, que ce chemin de fer, qui n'avait été

établi que pour transporter les marchandises, fut bientôt consacré au service des voyageurs.



Fig. 199. Marc Seguin.

Le grand succès du chemin de fer de Liverpool à Manchester décida l'adoption générale des voies ferrées dans toute l'Eu-



Fig. 200. George Stephenson.

rope. L'Angleterre, la Belgique, l'Allemagne, enfin la France et les autres nations européennes, s'enrichirent, dans l'espace de dix ans, c'est-à-dire de 1840 à 1850, d'une immense étendue

de ces voies nouvelles, qui, dans tous les pays, ajoutent à la fortune publique, et procurent au commerce et à l'industrie d'incomparables avantages. On a dit que les chemins de fer produiraient dans la société actuelle une révolution analogue à celle que détermina, au quinzième siècle, la découverte de l'imprimerie, et cette assertion est parfaitement juste.

Donnons maintenant la description de la machine locomotive.

La locomotive est une machine à vapeur à haute pression, qui se traîne elle-même et qui dispose de son excès de puissance pour remorquer, outre sa charge d'eau et de combustible, un nombre plus ou moins considérable de véhicules composant un convoi.

La figure 201 représente, en coupe, les éléments essentiels d'une machine locomotive. L'appareil moteur est représenté par le cylindre A, dont la tige *b*, attachée au piston *a*, et pourvue d'une seconde tige, ou bielle articulée *cc*, vient agir sur l'un des rayons d'une des roues, *m*, pour pousser en avant cette roue sur les rails. Deux appareils moteurs du même genre sont disposés sur les deux côtés de la locomotive, et viennent agir chacun sur chaque roue motrice. Cette double impulsion détermine la progression du véhicule sur les rails.

Mais comment est disposé le mécanisme de l'appareil à vapeur pour produire, dans l'espace si resserré de la locomotive, l'énorme puissance nécessaire pour entraîner de lourds convois avec une vitesse qui va facilement jusqu'à dix lieues par heure? C'est ce que montre, dans la même figure, la coupe de l'appareil de vaporisation de la locomotive. La machine locomotive est une machine à vapeur à haute pression, c'est-à-dire dans laquelle la vapeur n'est point condensée. Voici comment l'appareil de vaporisation et l'appareil moteur, ou les cylindres à vapeur, sont disposés sur cette machine.

Le foyer est placé en M. Cet espace est divisé en deux parties par la grille verticale qui sert de support au combustible: C est le cendrier; M, le foyer proprement dit, où brûle la houille.

La chaudière, qui occupe à elle seule presque toute l'étendue du véhicule, est de forme cylindrique. Elle est traversée par un grand nombre de tubes horizontaux. Le nombre de ces tubes, sur une locomotive ordinaire, est de plus de cent. Ces tubes, qui constituent la cause de l'énorme puissance de vapo-

risation des chaudières des locomotives, servent à donner passage au gaz et à la fumée qui se forment dans le foyer, et à multiplier considérablement les surfaces exposées à l'action du feu. Après avoir traversé ces tubes, les gaz résultant de

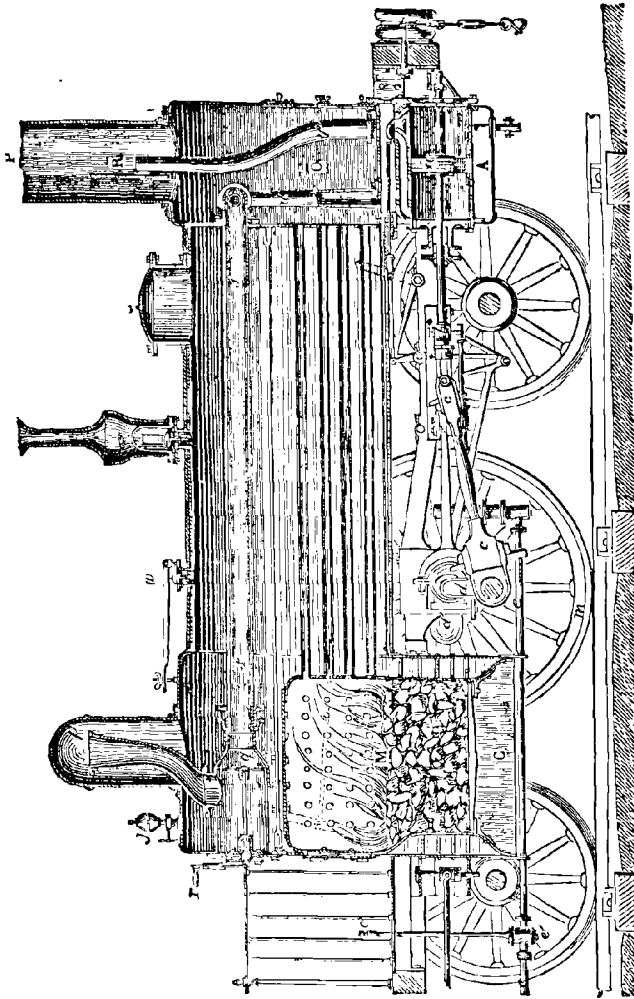


Fig. 201. Coupe longitudinale d'une locomotive.

la combustion s'échappent dans l'espace O, c'est-à-dire dans la *boîte à fumée*, et se dégagent au dehors par la cheminée P. Traversant ces tubes, avec la température très élevée qu'ils ont prise dans le foyer, ces gaz échauffent très rapidement

l'eau de la chaudière, qui remplit les intervalles qui les séparent. La chaleur se trouve ainsi communiquée sur mille points à la fois à l'eau, qui entre en ébullition avec une très grande rapidité, et fournit, dans un très court espace de temps, une quantité de vapeur prodigieuse. Or, la force d'une machine à vapeur étant proportionnelle à la quantité de vapeur qui est dirigée dans un même espace de temps dans le cylindre moteur, cette circonstance, c'est-à-dire la forme tubulaire de la chaudière, explique la puissance extraordinaire qui est propre aux machines locomotives.

Une soupape de sûreté, *w*, surmonte la chaudière et sert à prévenir les terribles effets d'une trop forte tension de la vapeur.

C'est à l'extrémité du tube *p*, c'est-à-dire à une certaine distance au-dessus de l'eau de la chaudière, que se fait la prise de vapeur. Cette partie du cylindre surmontant la chaudière a reçu le nom de *dôme de vapeur*. C'est par l'extrémité *p* du tube *qs* que la vapeur s'introduit par le petit canal qui doit la conduire dans les deux cylindres placés comme nous l'avons dit, sur les deux côtés de la locomotive.

Après avoir agi à l'intérieur des cylindres, c'est-à-dire après avoir mis en action le piston moteur qui joue à leur intérieur, la vapeur s'échappe au dehors; car la locomotive, il ne faut pas l'oublier, est une machine à vapeur à haute pression, dans laquelle par conséquent la vapeur n'est point condensée, mais est rejetée à l'extérieur après avoir exercé sur le piston son effort mécanique.

Au lieu de rejeter purement et simplement dans l'air la vapeur qui s'échappe des cylindres, comme on le fait dans les machines fixes qui fonctionnent à haute pression, on dirige cette vapeur à l'intérieur du tuyau de la cheminée de la locomotive, par l'orifice *R* du tube *OR*, et c'est par là qu'elle se trouve définitivement rejetée dans l'air, pêle-mêle avec les gaz et la fumée qui s'échappent du foyer. Chacun a vu, en effet, que c'est par le même tuyau que s'échappent alternativement ou simultanément et la fumée du foyer et la vapeur de la chaudière.

Ce n'est pas sans motif que l'on rejette ainsi la vapeur sortant des cylindres dans le tuyau de la cheminée de la locomotive. Ce moyen entre pour beaucoup dans la puissance de vaporisation de la chaudière, et par conséquent, dans la

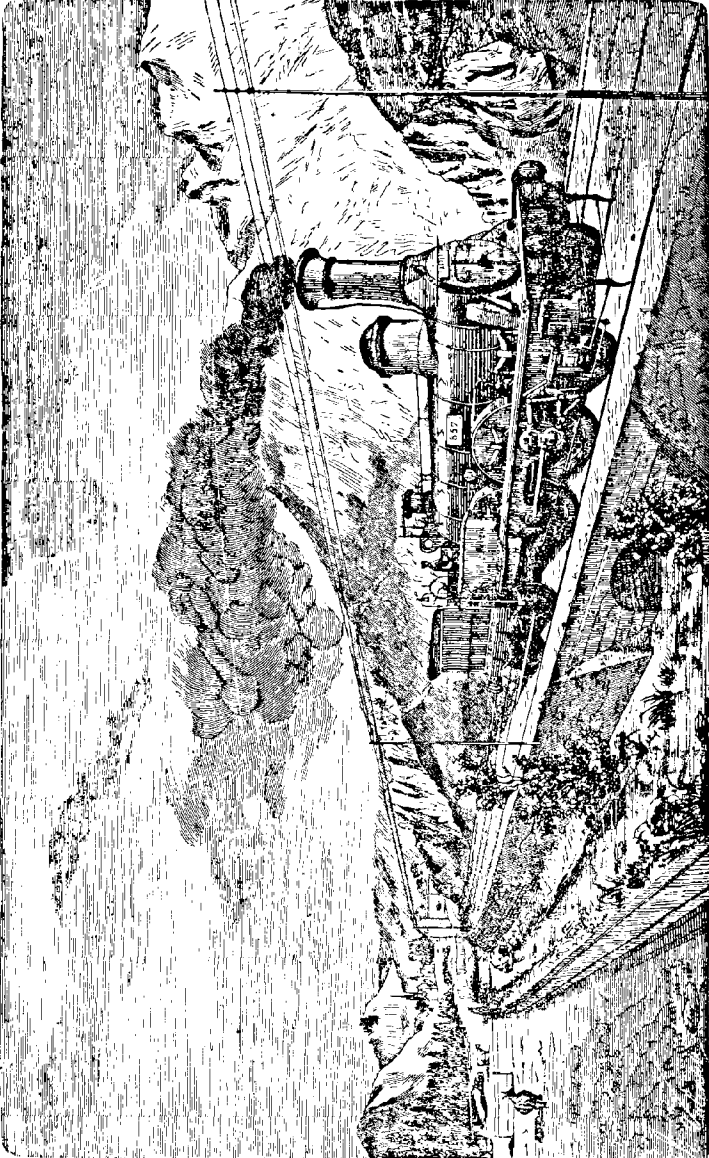


Fig. 20.2. Locomotive avec son tender.

puissance même de la machine. Cette injection continuelle d'un courant de vapeur au bas du tuyau de la cheminée a pour résultat d'activer extraordinairement le tirage de la cheminée. Ce courant de vapeur entraîne, balaye incessamment l'air occupant le tuyau de la cheminée; dès lors, à l'autre extrémité, c'est-à-dire dans le foyer, de nouvelles quantités d'air sont incessamment attirées ou appelées, et le tirage du foyer prend ainsi une énergie extraordinaire. Le combustible brûle très rapidement sous l'influence de ce courant d'air sans cesse entretenu; de telle sorte que le *tuyau soufflant* est une des causes les plus actives de la puissance des machines locomotives. Il aurait été difficile de provoquer un courant d'air convenable pour entretenir la combustion du foyer à travers les cent petits tubes que la fumée doit franchir en s'échappant dans l'air; l'ingénieux artifice du tuyau soufflant a merveilleusement remédié à cet obstacle.

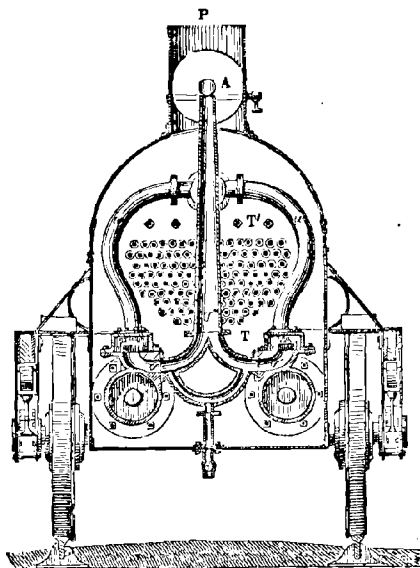


Fig. 203. Coupe transversale de la boîte à fumée et du tuyau soufflant.

La figure 203 montre la disposition du *tuyau soufflant* placé à l'avant de la locomotive. On voit sur cette figure la terminaison des *tubes à fumée TT'* de la chaudière, et la réunion des deux tubes qui, venant de chaque cylindre à vapeur, se réunissent en un seul, pour former l'*échappement de vapeur*, ou le *tuyau soufflant A*, lequel débouche au bas de la cheminée P.

On voit, en résumé, que la chaudière tubulaire et le *tuyau soufflant* contiennent le secret de l'énorme puissance motrice qui est propre à la locomotive.

Sur sa locomotive, Marc Seguin ne faisait pas usage du tuyau soufflant, mais il employait un ventilateur placé à l'en-

trée des tubes de la chaudière, ce qui produisait un tirage aussi puissant.

La figure 204 représente la locomotive avec les dispo-

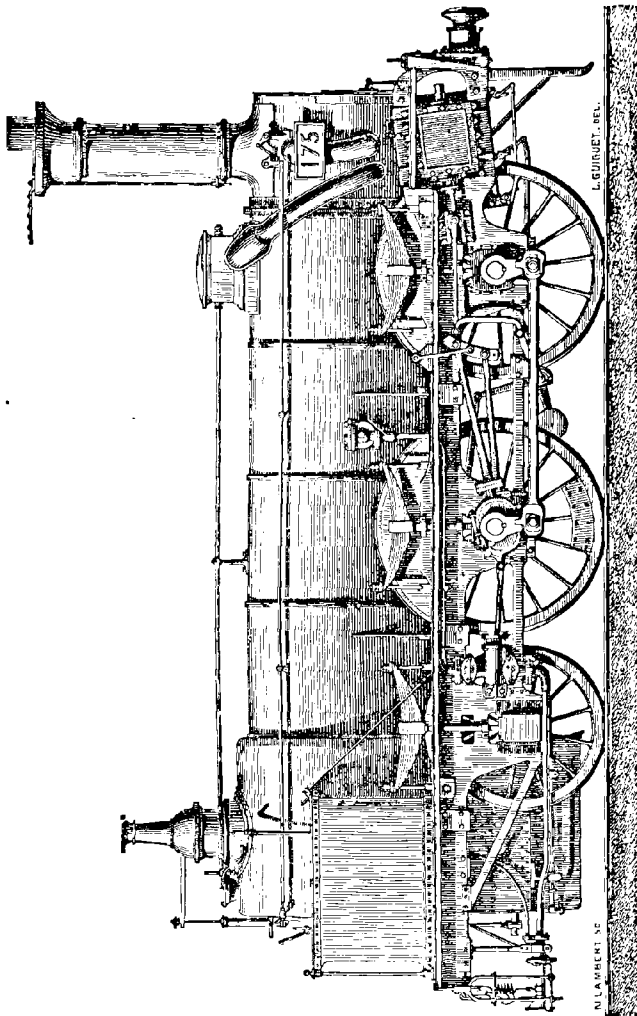


Fig. 204. Vue extérieure de la locomotive : mécanisme de la transmission, pompe alimentaire, etc., etc.

tions mécaniques diverses qui viennent d'être énumérées.

Un complément nécessaire de la locomotive est le véhicule qu'on appelle *tender*, qui porte l'eau, destinée à l'alimentation de la chaudière, le combustible et les ustensiles néces-

saies à la traction. Le charbon y est accumulé dans une caisse en forme de fer à cheval, entourée d'une seconde caisse de tôle, A B, pour recevoir l'eau, et qui contient de cinq à huit hectolitres de liquide.

On introduit l'eau dans cette caisse au moyen d'un cône creux en cuivre rouge, percé de petits trous, qui plonge dans la caisse à l'arrière, ainsi que cela se voit dans la figure 205. Un panier, ou tamis, que doit traverser l'eau, sert à retenir les impuretés et menus objets qui pourraient nuire au jeu des pompes alimentaires. Les tuyaux d'aspiration de ces pompes, C D, aboutissent sur le fond de la caisse, vers l'avant du tender. Deux soupapes, que le chauffeur ouvre ou ferme

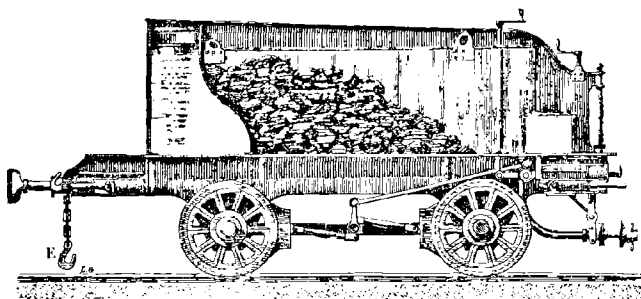


Fig. 205. Le tender; coupe longitudinale; vue intérieure.

à volonté, servent à donner accès à l'eau dans la chaudière ou à intercepter son passage.

Le tender est relié, d'un côté à la locomotive par une barre d'attelage, et de l'autre côté au train, par un crochet E, qui saisit la barre du premier wagon. Il est toujours muni d'un frein, F, qui, en agissant directement sur les roues, amortit peu à peu la vitesse du train lorsqu'il s'agit d'arrêter le convoi.

Les locomotives de gare et de banlieue, auxquelles on ne peut donner que des dimensions restreintes, pour qu'elles puissent passer sous les petits ponts des routes, réunissent le tender et l'appareil de locomotion en un seul corps de machine, qu'on appelle *locomotive-tender*. L'eau et le coke y sont disposés au-dessus et au-dessous du cylindre à vapeur.

On distingue trois catégories de locomotives : les *machines à voyageurs*, affectées au service de la grande vitesse ; les *ma-*

chines à marchandises, destinées au service de la petite vitesse; enfin les *machines mixtes*, affectées tantôt à l'une, tantôt à l'autre destination. Outre ces trois classes, les *ma-*

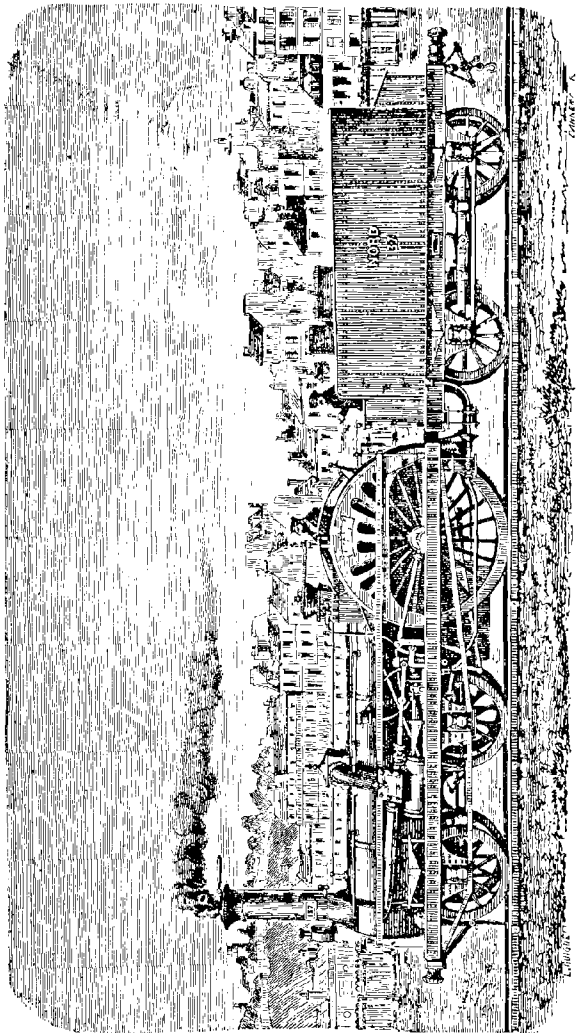


Fig. 206. Locomotive Crampton suivie de son tender (machine à voyageurs et de grande vitesse).

chines-tenders, et les *locomotives de montagne*, du système Engerth, ou autre, constituent quelques autres types spéciaux.

La *grande vitesse* sur une ligne ferrée, est d'au moins 40 ki-

lomètres à l'heure; mais elle atteint 60 et jusqu'à 100 kilomètres, quand le nombre des voitures à traîner es' peu considérable.

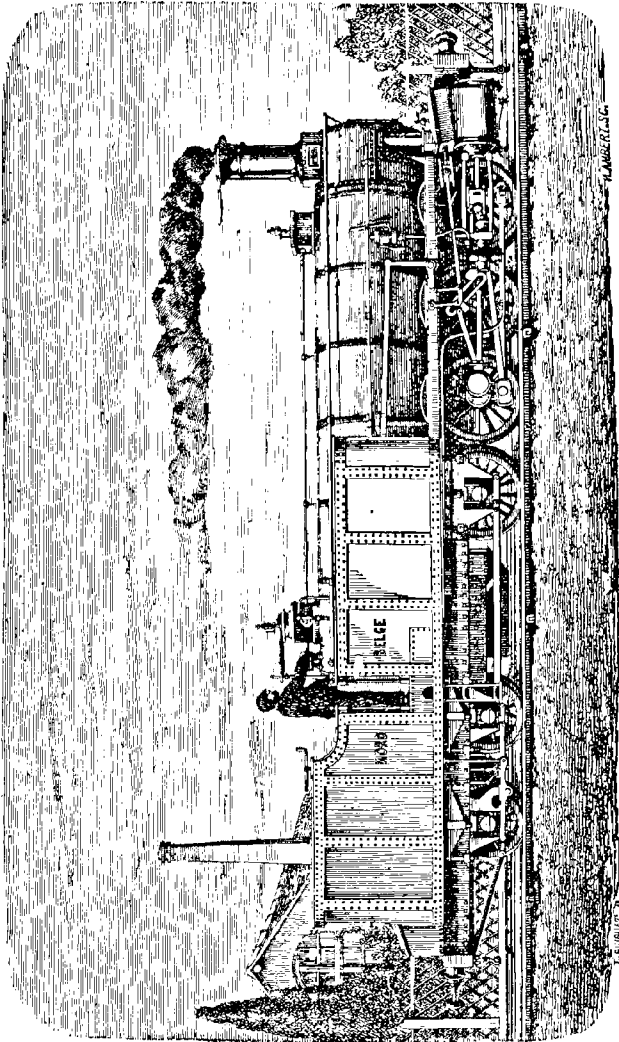


Fig. 207. Locomotive à marchandises, type d'Engerth, à six roues accouplées.

Dans les machines destinées à marcher à grande vitesse, les roues motrices sont d'un très grand diamètre (jusqu'à 2^m,3), et elles sont indépendantes des autres roues. Les cylindres sont très courts, et le piston a peu de course.

Le type le plus tranché de cette classe est la *locomotive Crampton*, qui fait, avec une rapidité merveilleuse, le service des trains express sur la plupart des chemins de fer français. La figure 206, qui représente une machine de cette catégorie, montre que les roues motrices sont placées à l'arrière. Deux autres paires de roues sont distribuées au milieu à l'avant.

Les locomotives destinées à remorquer les convois de marchandises ont des roues motrices beaucoup plus petites et des cylindres à vapeur plus longs. En outre, les roues motrices y sont réunies avec les autres roues, au moyen d'une bielle d'accouplement. Ces machines gagnent en force ce qu'elles perdent en vitesse. Elles ne font guère plus de 30 kilomètres à l'heure; mais leur charge peut aller jusqu'à 45 wagons, chargés chacun de 10 tonnes. Le type le plus saillant de cette catégorie est la machine Engerth, due à un ingénieur autrichien; nous la représentons sur la figure 207. On voit que le tender y est en partie réuni à la locomotive. Les *machines Engerth* fonctionnent sur la ligne du Nord, pour le transport de la houille.

La vitesse des *machines mixtes* varie entre 35 et 50 kilomètres à l'heure; elles remorquent de 20 à 25 wagons chargés. Leurs roues ont 1^m,5 de diamètre, et toutes leurs dispositions réalisent une sorte de moyenne entre les types extrêmes dont nous venons de parler. Telles sont les machines que M. Polonceau a fait construire pour le chemin de fer d'Orléans.

Le poids total de la machine et du tender réunis est d'environ 46 tonnes (de 1000 kilogrammes) pour le *Crampton*, de 66 tonnes pour l'*Engerth*, et de 35 pour les *machines mixtes*.

La puissance mécanique d'une locomotive peut être évaluée à 200 ou 300 chevaux-vapeur. On conçoit que le travail formidable représenté par le travail incessant de telles masses sur les rails doive user la voie en bien peu de temps, si elle n'est pas construite avec un soin tout particulier.

Donnons un aperçu de la manière d'établir la voie d'un chemin de fer.

Quand il s'agit de construire une voie ferrée, on commence par étudier le terrain; puis on procède au nivellement ou au tracé de la ligne, dont la courbure et la pente ne doivent jamais dépasser certaines limites. Le tracé étant bien arrêté, on

commence les travaux de terrassement, les tranchées, les déblais et les remblais. On perce des tunnels aux points situés trop bas.

Pour percer un tunnel on commence par creuser horizontalement, au-dessous du sol, un canal étroit, auquel on donne une section quadrangulaire d'abord, ensuite demi-circulaire, en soutenant ses parois par des étais composés de poutres et de pieds-droits en bois. Quand le travail de la galerie souterraine est suffisamment avancé, on le soutient par une charpente provisoire, qui supporte l'effort des terres,

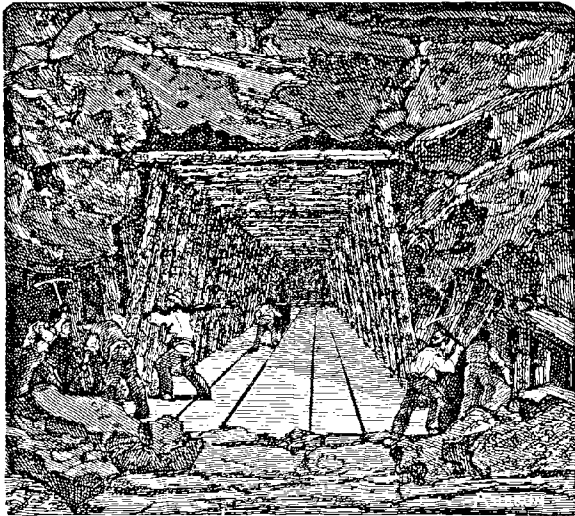


Fig. 208. Charpente provisoire d'un tunnel.

en attendant qu'une maçonnerie solide ait remplacé ce boisage.

On voit dans la figure 208 l'état des travaux d'un tunnel à cette période.

On s'occupe ensuite de remplacer ces charpentes provisoires par le revêtement en pierre qui doit constituer la galerie définitive. C'est cette seconde partie du travail que représente la figure 209.

Pendant le travail il est nécessaire que l'air ne manque pas aux ouvriers, et la même nécessité s'impose pour le tunnel une fois terminé, lorsque les convois auront à le parcourir.

C'est pour cela que, dès l'origine du creusement d'un tunnel, on établit une série de puits verticaux, qui aèrent la galerie pen-

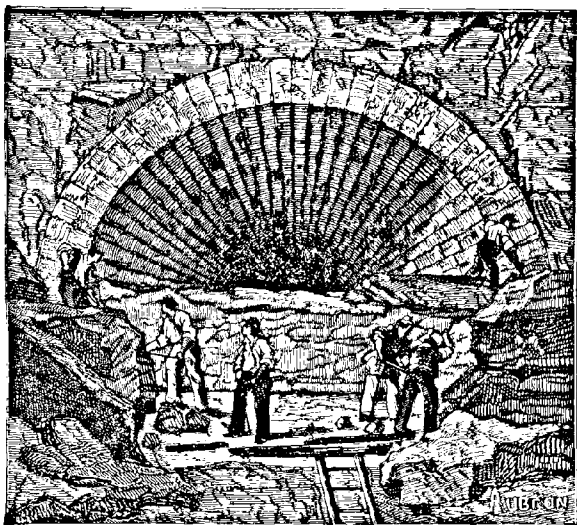


Fig. 209. Construction de la voûte en maçonnerie d'un tunnel.

dant les travaux. On maçonne ces puits comme le reste de la galerie, et une fois le revêtement en maçonnerie terminé, ces

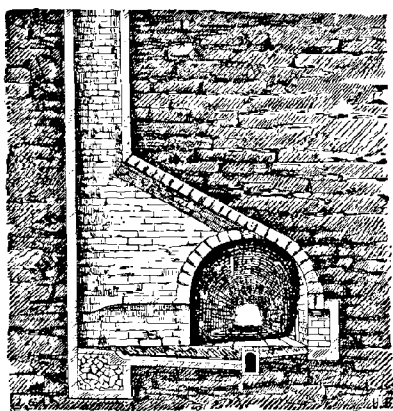


Fig. 210. Coupe d'un puits d'aérage d'un tunnel.

mêmes puits servent à renouveler l'air du tunnel parcouru par les trains du chemin de fer.

On voit dans la figure 210 la coupe d'un de ces puits.

La figure 211 est une vue de l'entrée du tunnel de Blaisy, sur la ligne de Paris à Lyon. Ce tunnel a une longueur de 4,100 mètres; il a coûté 10 millions, et a été achevé en trois ans et quatre mois.

Sa largeur intérieure est de 8 mètres, la hauteur de la voûte de 7 mètres et demi. La profondeur maximum au-dessous du massif qu'on a entamé est de 200 mètres.

Le plus long des tunnels à double voie, dans le monde entier, est celui du mont Saint-Gothard, qui a été terminé au mois de mars 1880 et qui a 14,920 mètres. Vient ensuite celui du mont Cenis qui a été terminé au mois de septembre 1871, et dont l'exécution a exigé douze ans de travaux. Ce tunnel, qui traverse tout le massif des Alpes pennines, a 12,230 mètres de longueur. Il relie les voies ferrées de la France à celles de l'Italie.

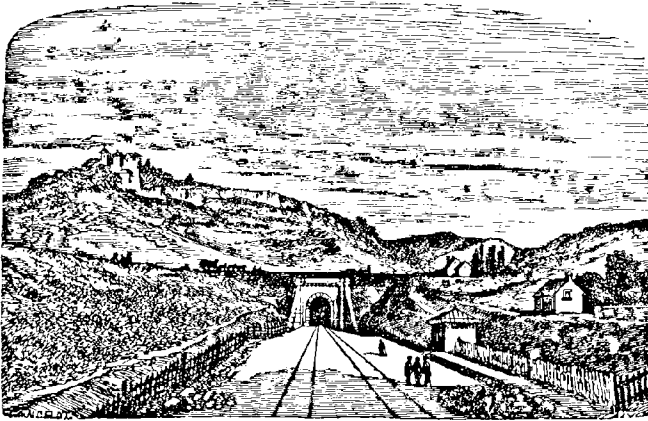


Fig. 211. Entrée du tunnel de Blaisy, sur la ligne de Paris à Lyon.

Le tunnel de la Nerthe, sur le chemin de fer de Lyon à Marseille, a 517 mètres de longueur. Sa construction a coûté 10 millions. Sur le chemin de fer de Roanne à Tarare on a construit un tunnel dont la longueur n'est pas moindre de 6,000 mètres.

Pour faire connaître les dimensions et la situation des tunnels les plus importants des chemins de fer de France et de l'étranger, nous grouperons ces données dans un tableau.

Longueurs de quelques tunnels sur les chemins de fer de France et de l'étranger.

	Nom des chemins de fer.	Longueur en mètres.
Souterrain de Bon-Secours.....	Rouen au Havre.	1055
— de Foug.....	Paris à Strasbourg.	1120
— de Culmont.....	Paris à Mulhouse.	1320
— de Hauenstein.....	Central Suisse.	2500
— entre la Sarre et le Rhin....	Strasbourg.	2778
— de Hommarting.....	<i>Id.</i>	2880

	Nom des chemins de fer.	Longueur en mètres.
Souterrain des Apennins.....	Turin à Gênes.	3100
— de Grivi.....	<i>Id.</i>	3255
— de Billy.....	Reims.	3500
— du Credo.....	Lyon à Genève.	3900
— de Blaisy.....	Paris à Lyon.	4100
— de la Nerthe.....	Avignon à Marseille.	4620
—	Roanne à Tarare.	6000
— du mont Cenis.....	Victor-Emmanuel.	12230
— du mont Saint-Gothard.....	Alpes.	14920

En Espagne, il y a de nombreux tunnels, mais peu dépassent la longueur de 1,500 mètres, si commune sur tous les chemins du monde. — Celui d'Oasurza (ligne de Madrid) a 2,950 mètres, et celui qui précède Tolède en a 2,400.

En Italie, il y a des tunnels nombreux et qui furent difficiles à ouvrir. Ce sont, en ce genre, les plus remarquables ouvrages.

Sur la chaîne des Apennins, entre Bologne et Florence, il y a le tunnel de Carale, long de 2,750 mètres, précédé et suivi d'autres tunnels variant de 600 à 1,800 mètres. Quand on parcourt cette ligne, percée le long d'une suite de montagnes, on ne fait que sortir d'un tunnel pour entrer dans un autre. J'ai fait deux fois ce voyage, et je puis dire que rien n'est plus fatigant que ce continu et subit passage de la lumière à l'obscurité et réciproquement.

Le tunnel de Busalla, sur la ligne de Gênes à Turin, a 3,100 mètres, il est percé dans le schiste calcaire.

En Angleterre, les tunnels sont rares, relativement au développement des chemins de fer. Ceux de la falaise du roi Lear, en face des côtes de France, ont seulement, l'un 1,937 mètres, et le second 1,393 mètres. Les autres tunnels en Angleterre n'atteignent pas 1,000 mètres.

Quand on peut se passer de creuser un tunnel, on se borne à ouvrir une tranchée. Le travail à ciel ouvert est autrement simple et facile que le travail souterrain. Aussi les ingénieurs choisissent-ils de préférence ce dernier moyen de franchir des hauteurs et de ramener la voie au niveau.

Si la quantité des terres à enlever est peu considérable, le creusement des tranchées est facile, mais l'entreprise est fertile en difficultés quand les terres à déblayer sont considérables. Nous ne pouvons entrer dans le détail de ces travaux, ni dans

l'examen de l'outillage variable qu'ils exigent. Nous citerons seulement quelques-unes des tranchées les plus remarquables.

La tranchée de Poincy, sur la ligne de Strasbourg, a près de 2 kilomètres de longueur et 16 mètres dans sa plus grande hauteur. Elle a fourni 500,000 mètres cubes de déblais.

Celle de Pont-sur-Yonne a une hauteur maximum de 20 mètres, et cube 500,000 mètres.

Nous citerons, sur les chemins de fer étrangers, la tranchée de Gadelbach, entre Ulm et Augsburg, qui a donné un million de mètres cubes de terre, et celle du Tring, sur le chemin de Birmingham à Londres, dont le volume dépasse 1,100,000

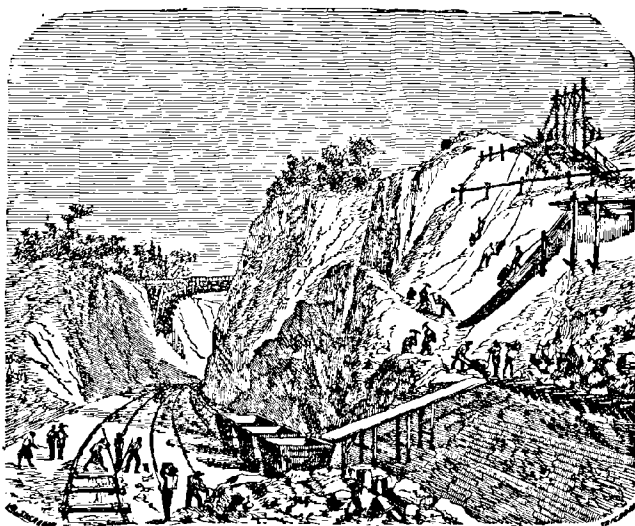


Fig. 212. Tranchée de la Loupe.

mètres ; elle est longue de 4 kilomètres et atteint jusqu'à 17 mètres de profondeur. La masse de terre qui fut enlevée dans ce dernier déblai, étant ramassée sous la forme d'un cube, dépasserait de 24 mètres en hauteur le sommet du Panthéon !

La tranchée de la Loupe (fig. 212), sur le chemin de fer de l'Ouest, dans le département de l'Orne, est une des plus considérables des chemins de fer français. Elle a 4 kilomètres de longueur et atteint jusqu'à 16 mètres dans la plus grande profondeur. Les terres déblayées ont fourni le nombre énorme

de 1,100,000 mètres cubes, c'est-à-dire autant que la célèbre tranchée du Tring en Angleterre. On employa 1,100 ouvriers à ce travail gigantesque.

Quand les terrains, au lieu d'être trop élevés, sont en contrebas de la voie, on élève des remblais, par un apport convenable des terres.

Dans d'autres points du parcours de la voie, il faut traver-

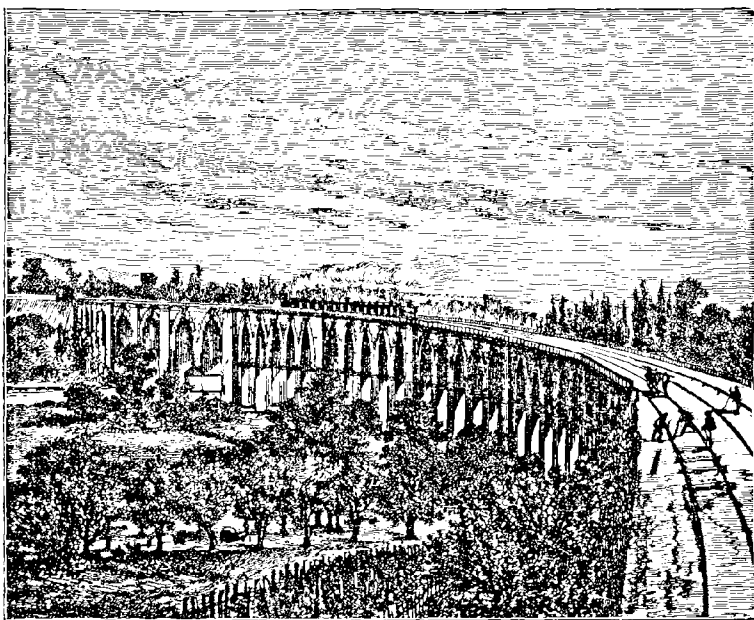


Fig. 213. Viaduc de Nogent-sur-Marne.

ser des fleuves ou des rivières, ou bien il faut franchir des vallées. De là la nécessité de la construction de *viaducs* et de *ponts*. Les travaux d'art que les ingénieurs des chemins de fer ont construits pour les viaducs et ponts-viaducs ont fini par couvrir le réseau de nos voies ferrées d'œuvres architecturales qui font l'admiration du touriste, mais que l'on n'a malheureusement pas la faculté de contempler à son aise, quand on voyage sur la ligne même où sont placées ces belles constructions. Nous rappellerons rapidement quelques-uns des travaux

d'art de ce genre, les plus connus ou les plus dignes de l'être.
 Quel est le Parisien qui ne connaît pas, sur le chemin de

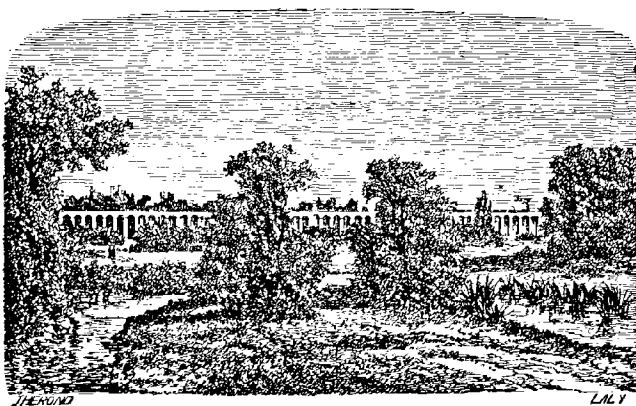


Fig. 214. Vue générale du viaduc de l'Indre.

fer de Paris à Versailles (rive gauche), le viaduc de Val-Fleury ? Qui n'a admiré, du haut de ses sept arcades, les

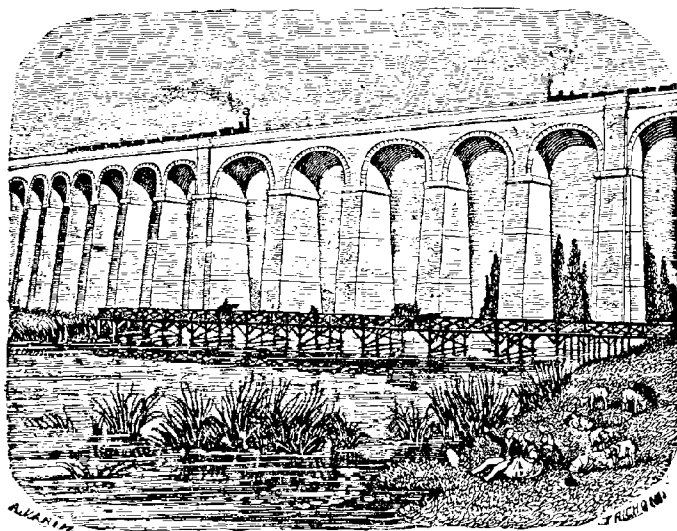


Fig. 215. Viaduc de l'Indre, traversée de la rivière.

magnifiques vallées qu'il franchit comme à vol d'oiseau ?

Un autre viaduc dont la visite est à recommander aux Parisiens, c'est celui de Nogent-sur-Marne (fig. 213), à quelques

kilomètres de Paris. C'est un des ponts-viaducs les plus hardis que l'on puisse citer. Il dessine une ligne courbe sur une longueur de 700 mètres, avec une hauteur de 50 mètres au-dessus de la vallée.

On cite avec admiration le viaduc de Chaumont, long de 600 mètres, — le viaduc de Barantin qui, avec ses 25 arches, atteint une longueur de 500 mètres, — celui de la Goltzch, en Saxe, long de 580 mètres et qui domine la vallée de la hauteur de 80 mètres.

Nous représentons (fig. 214 et 215) le viaduc qui traverse l'Indre, entre Tours et Monts, remarquable par ses 50 arches, qui a 750 mètres de long et domine la vallée, à 22 mètres de hauteur.

Outre les viaducs, il y a encore à construire, pour franchir les rivières, de véritables ponts. Mais l'examen de la question des ponts sur les chemins de fer nous entraînerait à trop de détails. Les ponts pour recevoir les voies ferrées exigent en effet des conditions spéciales, et que l'ingénieur doit d'ailleurs varier suivant les localités et les conditions à remplir.

Quand toutes les constructions ainsi que les œuvres d'art sont terminées, on procède à la pose de la voie.

La chaussée d'un chemin de fer doit être composée de manière à résister aux effets des pluies et de l'ébranlement continu résultant du passage des trains. Elle est constituée par une couche de matériaux perméables, appelée, *ballast*, qui

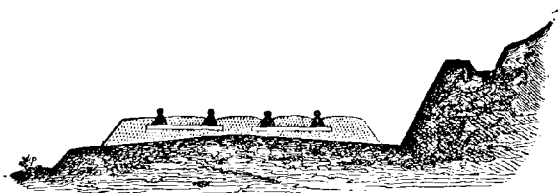


Fig. 216. Coupe transversale de la voie, et ballast.

donne passage aux eaux du ciel et les laisse s'écouler sur les plans légèrement inclinés de la chaussée. Nous représentons cette disposition de la voie, avec la couche de *ballast*, sur la figure 216.

Le *ballast* fait encore office de matelas et amortit les secousses qu'éprouveraient les wagons.

C'est dans le *ballast* qu'on fixe les *rails*, ou bandes de fer sur lesquelles portent les roues des voitures.

Les *rails* reposent sur les *traverses*, pièces de bois posées sur le ballast, et dont le but est d'assurer la stabilité de la route et de rendre solidaires les deux lignes de rails.

La forme que l'on donne aujourd'hui aux rails de chemins

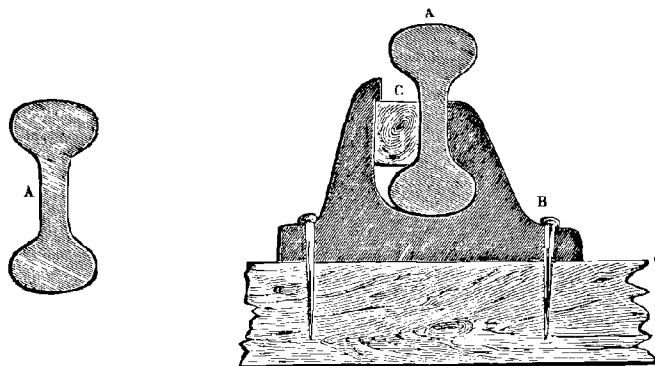


Fig. 217. Coupe verticale d'une traverse et d'un rail à double champignon.

de fer, dans la plupart des pays, est celle dite à *double champignon*, que représente, en coupe, la figure 217. C'est une bande de fer terminée par deux saillies de forme à peu près elliptique, que l'on nomme *bourrelets*.

Pour poser ces rails sur les traverses de bois, on fait entrer le bourrelet inférieur du rail A (fig. 217) dans un coussinet, B,

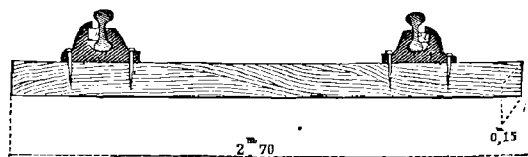


Fig. 218. Coupe verticale d'une traverse munie de ses rails et des coussinets.

où il est assuré par un coin de bois, C, enfoncé à coups de maillet. Quand le champignon supérieur est usé, on peut le retourner et faire servir le bourrelet inférieur.

Les deux figures 218 et 219 représentent : la première (fig. 218), la coupe d'une traverse munie de ses rails à double champignon et de leurs coussinets ; l'autre (fig. 219), une vue

en plan et en perspective d'une portion de voie, avec rails à simple champignon.

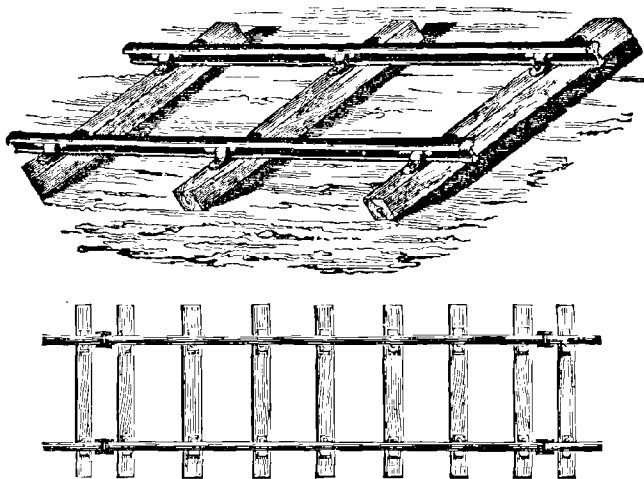


Fig. 219. Vue en plan et en perspective d'une portion de voie.

Quand une voie se bifurque, on fait passer le train sur l'une ou l'autre branche à volonté, au moyen d'un appareil qu'on appelle *changement de voie*. Si le changement de voie traverse une autre branche des mêmes rails, il devient une

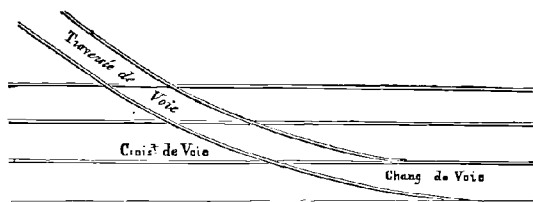


Fig. 220. Changement, croisement et traversée de voie.

traversee de voie. Enfin quand deux voies différentes se coupent, on a recours à un *croisement de voie* (fig. 220).

Comme les roues, avec leurs rebords en saillie, ne sauraient sans danger monter sur les rails placés en travers de leur route, on est forcé d'interrompre les voies aux points de croisement ; et pour éviter le déraillement des roues, on place, vis-à-vis des interruptions, des contre-rails, ou tronçons de rails.

Voici (fig. 221) la disposition d'un appareil de croisement de voie.

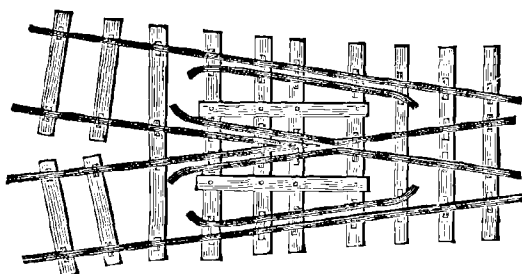


Fig. 221. Appareil de croisement de voie.

Dans le cas des changements de voie où il s'agit de faire prendre à un convoi, à volonté, l'une ou l'autre de plusieurs branches de bifurcation, on se sert d'un appareil plus compliqué, qu'on appelle *aiguilles*. Ce sont des bouts de rails, taillés en biseau, mobiles au moyen d'un levier, qui viennent s'appliquer par leurs extrémités contre les rails de la voie que l'on veut débarrasser, et qui font glisser les roues des wagons sur la voie nouvelle que le train doit suivre à partir du point de bifurcation. Un employé spécial, l'*aiguilleur*, est chargé d'imprimer aux aiguilles le mouvement nécessaire pour faire passer le train d'une voie à l'autre.

Les *plaques tournantes* sont destinées également à opérer des changements de voie.

Ce sont des disques mobiles qui reposent sur un pivot en fer et qui portent sur leur surface supérieure des portions de voie destinées à relier deux tronçons opposés.

Le mécanisme des plaques tournantes est fort simple. Le plateau supérieur, qui porte à sa circon-

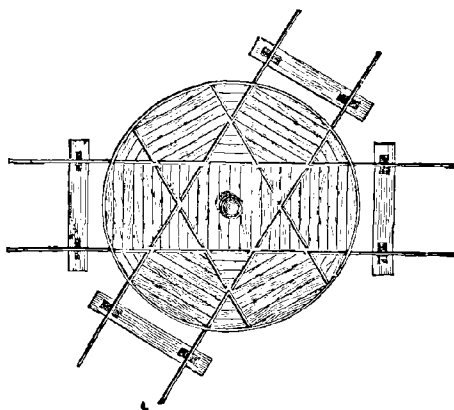


Fig. 222. Plaque tournante à trois voies.

férence un rail circulaire, pivote autour de son centre. Le rail circulaire repose lui-même sur des galets qui roulent

entre lui et un autre rail circulaire inférieur, fixé au fond d'une fosse. Ces rails s'appellent *cercles de roulement*; ils sont exécutés avec le plus grand soin, pour permettre aux galets, sur lesquels ils sont supportés, de rouler sans obstacle.

La figure 222 représente une plaque tournante à trois voies.

Comme les plaques tournantes sont très chères, on les remplace quelquefois par des chariots placés sur des voies transversales, et sur lesquels on hisse les voitures qu'il faut transporter de l'une des deux voies parallèles sur l'autre.

Quand on voyage en chemin de fer, on rencontre, sur le parcours de la voie, de grandes colonnes de fonte munies d'un tube de cuir. Quelle est leur destination? Ce sont des réservoirs d'eau, pour l'alimentation des chaudières, ou plutôt pour renouveler l'eau du tender.

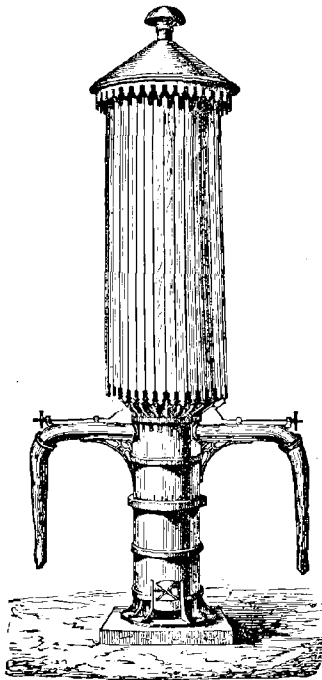


Fig. 223. Grue hydraulique.

Les *réservoirs hydrauliques* sont des cylindres de fonte pleins d'eau, fermés par une soupape placée à leur partie inférieure. Une tige de fer est adaptée à cette soupape. Quand on veut renouveler la provision d'eau du tender, on place l'extrémité du tube de cuir dans ce tender; puis, en tirant la tige de fer, on ouvre la soupape et l'on fait écouler l'eau.

Sur le parcours de la voie, on rencontre également de simples colonnes de fonte, terminées par un tube de cuir. Ce sont encore des réservoirs d'eau, mais l'eau y arrive par des conduits souterrains qui ne sont pas apparents. Ces colonnes sont moins usitées que les précédentes, parce qu'en hiver l'eau gèle dans les conduits. Elles

portent le nom de *grues hydrauliques*.

On peut chauffer d'avance l'eau contenue dans ce réservoir.

afin d'alimenter la chaudière avec de l'eau déjà chaude, ce qui évite des pertes de temps. A cet effet, il existe, au bas du cylindre de fonte contenant l'eau, un véritable fourneau, qui sert à chauffer l'eau avec du combustible de peu de valeur. Au bas de la figure 223, qui représente une *grue hydraulique*, on remarque le petit fourneau, qui sert à chauffer l'eau si cela est nécessaire.

Quand on a besoin d'un réservoir d'eau de plus grande dimension, on construit le bâtiment que représente la figure 224.

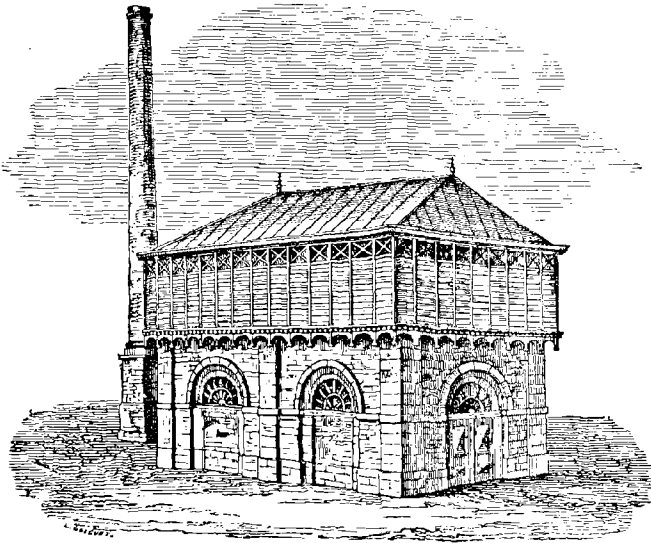


Fig. 224. Réservoir d'eau.

Ce bâtiment se compose de deux parties : un bassin en maçonnerie destiné à contenir l'eau, et qui occupe le premier étage; un rez-de-chaussée où est établie une machine à vapeur. La machine à vapeur, dont on voit la cheminée à gauche de la figure, fait agir des pompes qui élèvent l'eau dans le réservoir.

La capacité de ces bassins est habituellement de 100 mètres cubes.

Après avoir expliqué le mécanisme des locomotives et de la voie ferrée, il convient de dire quelques mots des voitures

qui servent au transport des voyageurs et des marchandises.

Une des parties les plus essentielles des voitures des chemins de fer, ce sont les roues. Dans le matériel roulant des chemins de fer, les roues jumelles font corps avec l'essieu, qui tourne dans des colliers spéciaux. Les deux roues de chaque côté du wagon sont ainsi solidaires ; cela est nécessaire pour éviter que l'une des roues étant arrêtée momentanément par un obstacle accidentel, l'autre continue à tourner, ce qui pourrait donner lieu à un déraillement.

Les wagons sont de formes très variées. Les maisons roulantes qui sont destinées au transport des voyageurs offrent des divisions proportionnées au prix des places. La disposition des wagons des différentes classes est, d'ailleurs, assez con-

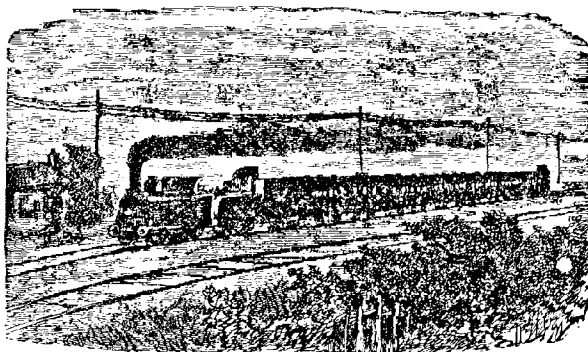


Fig. 225. Un train de chemin de fer.

nue pour que nous nous dispensions d'en donner aucune description.

Les voitures pour le transport des animaux ont deux étages, et ne sont point divisées en stalles.

Il y a des wagons spéciaux pour le lait, pour la houille et le coke.

Des *trucks* sont destinés au transport des voitures ordinaires, chaises de poste ou diligences.

Les wagons qui transportent des pierres et du ballast, pendant les travaux de terrassement, ont une forme plus simple : ce sont des espèces de tombereaux, qu'on peut décharger, sur la droite ou sur la gauche de la voie, par un simple mouvement de bascule.

Considérant maintenant le convoi en marche, traîné par l'infernal Pégase aux yeux de feu et à l'haleine embrasée, demandons-nous par quel moyen on parvient à arrêter cette masse énorme, une fois lancée sur les rails.

On ne pourrait songer à arrêter subitement un train sur place, car le choc qui résulterait d'un arrêt instantané serait aussi terrible qu'une chute de tout le train du haut d'un quatrième étage. On ne peut donc faire autre chose qu'amortir progressivement la rapidité de la marche. Ce résultat est obtenu au moyen du *frein*, qui, par l'action d'un levier manœuvré par l'employé nommé *garde-frein*, presse des sabots de bois contre le pourtour des roues.

La figure 226 montre de quelle manière le mouvement est

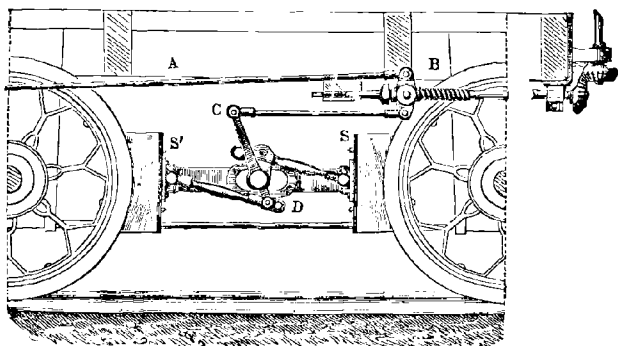


Fig. 226. Mécanisme d'un frein.

transmis aux leviers coudés qui font agir les sabots. La tige horizontale A, dont on ne voit qu'une partie, est mise en action, à distance, par le garde-frein. Elle pousse, grâce à l'articulation B, le levier à deux bras C, D, et ces deux bras de levier pressent, chacun de son côté, les sabots S, S' contre la roue, de manière à arrêter peu à peu leur mouvement.

Quand il faut s'arrêter, ou éviter un obstacle, le mécanicien siffle, pour donner avis aux *gardes freins*; ceux-ci serrent aussitôt l'appareil. Cependant avant de s'arrêter le convoi parcourt quelquefois encore un kilomètre, tant est grande l'impulsion à laquelle il obéit.

On a eu recours à l'air comprimé, à la vapeur, etc., pour faire fonctionner les freins, mais on s'en tient à la force de l'homme, rarement on a recours à la force d'impulsion propre

au train. On s'est longtemps servi, sur plusieurs chemins de fer, du *frein Guérin*, système automoteur dans lequel les freins sont serrés par la force des wagons qui se poussent les uns les autres, par suite du ralentissement provenant de la contre-vapeur. La particularité du *frein Guérin* résidait dans la combinaison pratique des organes de transmission de ces forces qui agissent en sens contraire.

Le frein *Whitehouse*, disposition plus simple et plus avantageuse, a été adopté depuis une dizaine d'années sur la plupart de nos grandes lignes. L'action de ce frein est rapide et sûre. Les accidents qui nécessitent l'arrêt subit d'un train, sont, d'ailleurs, extrêmement rares, grâce au système de signaux qui

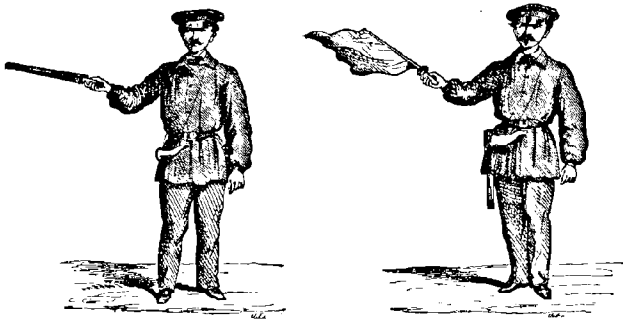


Fig. 227. Signaux à la main.

permet d'avertir instantanément le mécanicien de tout ce qui se passe sur la voie.

Ces signaux sont de différente nature. Il y a d'abord des signaux à la main (fig. 227). Un drapeau roulé indique une voie libre ; un drapeau déployé signifie : ralentissement, s'il est vert ; arrêt, s'il est rouge.

La nuit les drapeaux sont remplacés par des lanternes de trois couleurs (blanc, vert, rouge).

Il y a enfin des signaux fixes établis sur la voie.

A 800 mètres de chaque station au moins, on aperçoit un disque porté sur un poteau très élevé. C'est là un des moyens les plus commodes et les plus sûrs d'avertissement de l'état de la ligne.

Ce disque est en tôle et il est peint en rouge sur l'une de ses faces.

Si la face rouge se présente en avant d'un train, c'est-à-dire perpendiculairement à la voie, c'est un signal d'arrêt. Si, au contraire, le disque est effacé, s'il se présente par sa tranche, s'il est par conséquent parallèle à la voie, c'est le signal que la voie est libre.

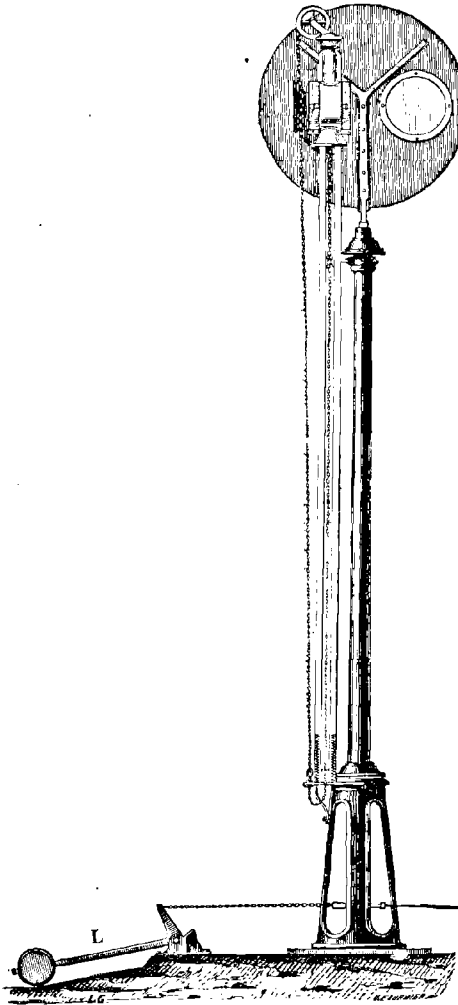


Fig. 228. Disque-signal vu perpendiculairement à la voie.

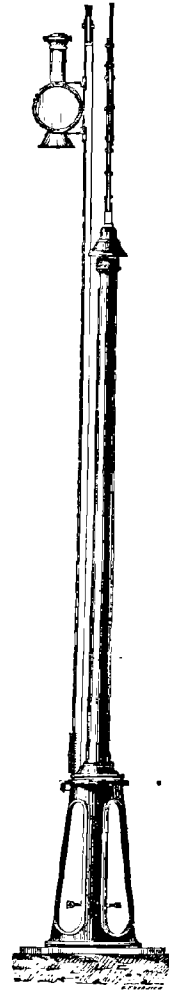


Fig. 229. Disque-signal vu de champ.

s'il est par conséquent parallèle à la voie, c'est le signal que la voie est libre.

On voit sur la figure 228 le disque montrant sa face rouge : c'est le signal de l'arrêt.

La figure 229 représente le même disque effacé et parallèle à la voie : c'est le signal de la voie libre.

Telles sont les deux indications données par les disques pendant le jour. La nuit, des feux blancs ou rouges donnent la même indication.

On remarque sur les figures 228 et 229 une lanterne à verres blancs au milieu du disque qui correspond à une ouverture percée dans le même disque et fermée par un verre rouge. La nuit, pour indiquer que la voie est libre, la lanterne, avec son feu blanc, est visible, parce que le disque, tourné parallèlement à la voie, est effacé, vu de champ, et laisse, par conséquent, apparaître le feu blanc de la lanterne.

Si l'on veut faire le signal d'arrêt, on fait tourner le disque. Alors son ouverture circulaire munie d'un verre rouge vient se placer devant la lanterne, et l'on aperçoit au loin un feu rouge, qui est le signal d'arrêt.

Pour imprimer au disque le mouvement de simple rotation sur lui-même qui, grâce à ces conventions, suffit pour indiquer l'état de la voie, on se sert d'un fil de fer courant le long

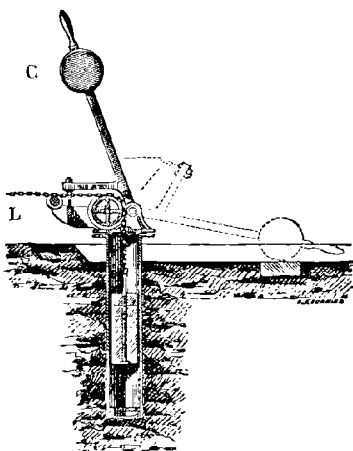


Fig. 230. Manœuvre du disque-signal.

du sol, et supporté, à deux ou trois centimètres d'élévation seulement, au moyen de petits poteaux de bois. Un levier opérant une traction sur ce fil suffit pour faire tourner le disque, d'après le mécanisme que nous allons représenter.

Ce levier, qui opère la traction sur ce fil, est déjà visible sur la figure 228. Il est indiqué au pied de la colonne du disque par la lettre L. Quand le fil de fer partant de ce levier arrive à la colonne du

disque qu'il s'agit de faire tourner, il est remplacé par une chaîne L qui vient s'enrouler sur la gorge d'une poulie (fig. 230) et qui soutient un contre-poids C, lequel descend dans un puits creusé verticalement au pied de la colonne. Ce contre-

pois descendant a pour effet de maintenir le fil de fer toujours tendu.

Quand on tire sur le fil de fer, la chaîne L enroulée sur la poulie est prise dans la partie inférieure de la gorge de la poulie, qui est plus étroite. Le fil est alors tiré de côté, et la chaîne verticale à laquelle est attaché le disque fait opérer à ce disque un tour sur lui-même. C'est tout le mouvement qu'on lui demande.

On voit sur la figure 230 la position du levier pour laisser le disque correspondant immobile, indiquée par des traits pleins. La position pour faire pivoter le disque est indiquée par des traits ponctués.

Le télégraphe électrique est d'un usage continuel pour avertir les employés, et ces avertissements constants sur le trajet de la ligne sont le moyen le plus sûr de garantir l'exactitude du service et d'éviter les accidents.

En résumé, les moyens qui assurent la sécurité des chemins de fer se perfectionnent tous les jours.

Au 1^{er} janvier 1880, l'étendue totale des lignes exploitées sur notre globe était de 200,000 kilomètres (50,000 lieues), c'est-à-dire plus de trois fois le tour de la terre; elles ont coûté ensemble 56 milliards. Sur ce nombre la longueur totale des chemins de fer français est d'environ 23,000 kilomètres (6,500 lieues).

Les chemins de fer sont venus donner une impulsion considérable et en même temps imprimer une physionomie nouvelle aux créations de l'architecture. Les travaux d'art distribués le long de la voie ainsi que les gares ont offert au génie artistique de l'architecte et de l'ingénieur une carrière nouvelle. Ici la science est venue se mêler très heureusement à l'art. Les matériaux de fer ont remplacé les matériaux de bois; les charpentes métalliques ont détrôné les vieilles solives des anciens monuments. De tout cela est résulté un style architectural tout particulier, destiné à satisfaire les besoins d'une circulation immense, et en même temps à accroître les exigences du goût, tout en réalisant les conditions d'hygiène et de bien-être. L'architecture des chemins de fer est aujourd'hui fondée. Elle porte le cachet d'un siècle qui met son honneur dans le travail, comme le siècle précédent l'avait mis dans la guerre.

Des chemins de fer le style architectural passera peu à peu dans nos industries, et transformera leurs constructions gros-

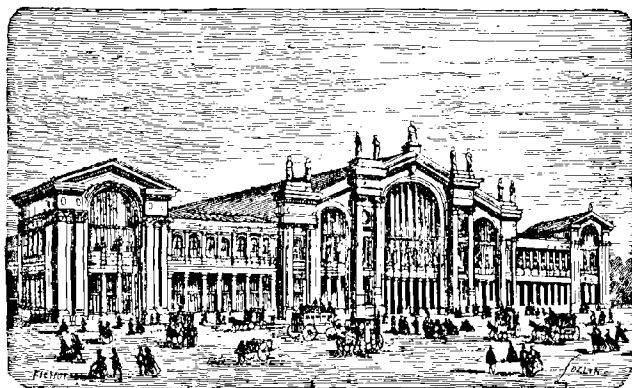


Fig. 231. Gare du chemin de fer du Nord, à Paris.

sières, en y introduisant ce qui est le caractère de l'architec-

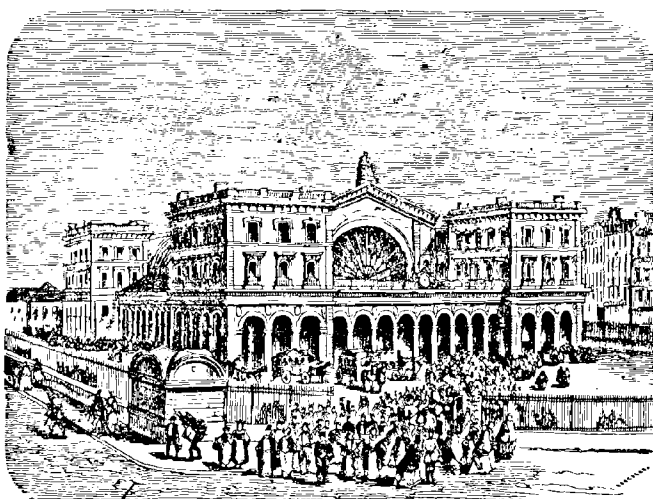


Fig. 232. Gare du chemin de fer de l'Est, à Paris.

ture des chemins de fer, à savoir l'élégance et l'appropriation à l'usage.

Chaque nation se reflète aujourd'hui dans le style architec-

tural de ses voies ferrées. A l'Allemagne les monuments solides,

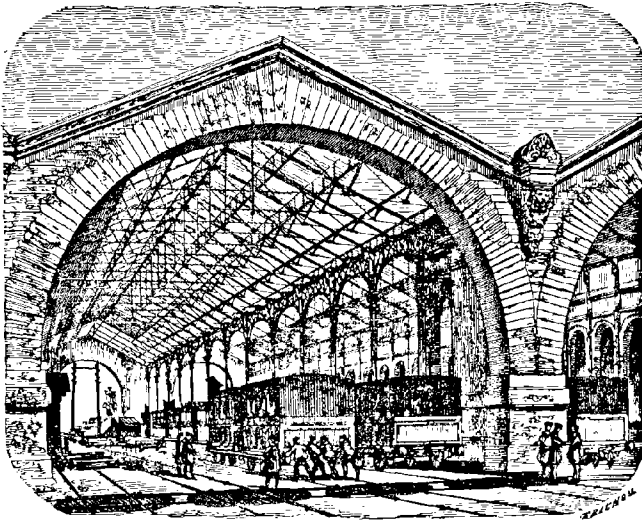


Fig. 233. Intérieur de la gare du chemin de fer de l'Ouest, à Paris.

carrés et robustes; à l'Angleterre les sveltes constructions; à

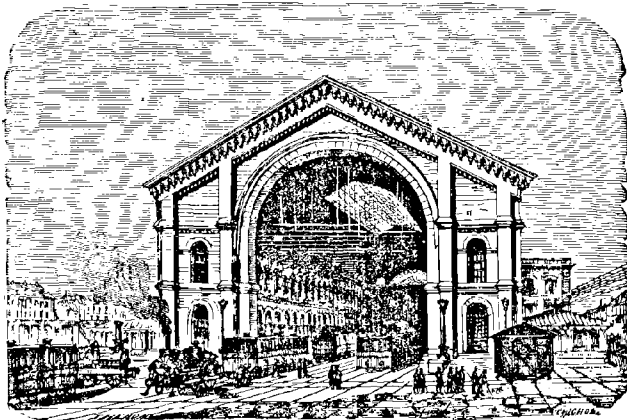


Fig. 234. Intérieur de la gare du chemin de fer de l'Est, à Paris.

la France les élégances monumentales où l'art se marie à l'industrie.



XVIII

LES LOCOMOBILES

Objet spécial de la locomobile. — Histoire de la locomobile. — Description de cette machine. — La locomobile agricole et la locomobile industrielle. — Applications diverses de la locomobile aux travaux industriels. — Grue à vapeur. — Monte-charge à vapeur. — Pompe à incendie à vapeur, etc. — Histoire des voitures à vapeur. — Principaux systèmes de voitures à vapeur.

On donne le nom de *locomobile*, ou de *machine à vapeur locomobile*, à une machine à vapeur qui se transporte elle-même d'un point à un autre, pour y exécuter sur place différents travaux mécaniques. On l'a appliquée particulièrement jusqu'ici aux travaux réclamés par l'agriculture : c'est ce qui lui fait donner quelquefois le nom de *machine à vapeur agricole*.

La machine à vapeur destinée à accomplir les opérations mécaniques réclamées par l'agriculture, c'est-à-dire à battre les grains, à confectionner sur place les tuyaux de drainage, à exécuter les irrigations, à semer, à moissonner, à botteier et même à labourer les champs, nous est venue d'Amérique. La rareté des bras, le prix élevé du travail manuel, conduisirent les agriculteurs des États-Unis à remplacer dans beaucoup de cas, pour le travail de la terre, les bras des ouvriers par la machine à vapeur.

L'Angleterre adopta, après l'Amérique, la machine à vapeur locomobile, et elle ne tarda pas à en tirer les résultats les plus importants sous le rapport de l'économie pour les travaux agricoles.

L'Exposition universelle de Londres de 1851, qui présentait

dix-huit appareils de ce genre, de modèles divers, fit connaître les locomobiles à l'Europe industrielle. La France profita la première de cet enseignement. Aujourd'hui les locomobiles sont devenues un utile auxiliaire pour les travaux mécaniques qui s'exécutent dans nos campagnes. Le rôle de ces machines à vapeur se borne encore au battage des grains et à la confection des tuyaux de drainage; mais il serait de l'intérêt bien entendu des propriétaires, et des ouvriers eux-mêmes, que leur usage prît plus d'extension. On n'a pas à redouter que l'introduction des appareils mécaniques ôte le travail aux ouvriers des champs, car il est bien établi, par les résultats de l'expérience de toutes les nations, que l'emploi des machines dans les différentes industries, loin d'avoir diminué le nombre des ouvriers, a, tout au contraire, considérablement augmenté ce nombre et amélioré leur sort.



La locomobile étant destinée à être mise en œuvre par des personnes peu expérimentées, à ne fonctionner que par intervalles, et à être, par conséquent, souvent démontée, devait présenter très peu de complications dans sa structure mécanique. On a donc extrêmement simplifié la machine à vapeur pour cette application spéciale. On l'a réduite à ses éléments tout à fait indispensables, de telle sorte que la locomobile n'est, à proprement parler, qu'un rudiment de machine à vapeur.

Dans une locomobile, la vapeur n'est jamais condensée : la machine est à haute pression. On se trouve ainsi débarrassé des organes lourds et encombrants qui servent, dans les machines à basse pression, à condenser la vapeur. Réduite ainsi à un faible poids, cette machine, montée sur des roues et pourvue d'un brancard, auquel on attelle un cheval, peut être aisément transportée d'un point à un autre, sur les routes étroites et accidentées qui traversent les propriétés rurales.

Comme on le voit par la figure 233, une locomobile est une machine à vapeur réduite à ses deux éléments essentiels : la chaudière et le cylindre. La chaudière est tubulaire, comme celle des locomotives, mais réduite à un petit nombre de tubes, ce qui permet néanmoins de produire une assez grande quantité de vapeur avec une quantité d'eau médiocre. Le ré-

servoir d'eau nécessaire à l'alimentation de la chaudière consiste tout simplement en un seau, ou tonneau, placé à terre, dans lequel la machine vient puiser l'eau, à l'aide d'un tube, au fur et à mesure de ses besoins. C'est le mouvement de la machine elle-même qui règle la quantité d'eau qui s'introduit dans la chaudière.

L'appareil moteur, ou cylindre à vapeur, A, est placé horizontalement au-dessus de la chaudière FCT. Au moyen d'une tige, B, et d'une manivelle *tm*, le piston de ce cylindre im-

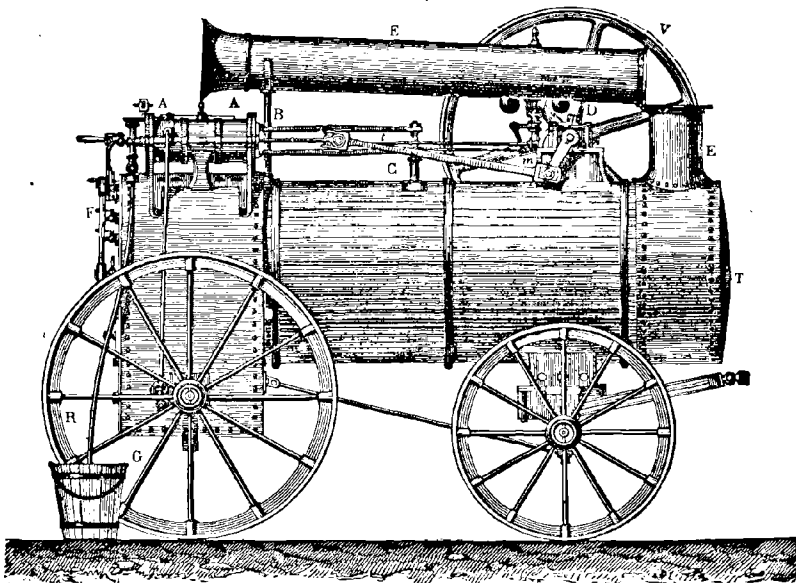


Fig. 235. Locomobile.

prime un mouvement rotatoire à un arbre horizontal, D, placé en travers de la locomobile. Cet arbre fait tourner une large roue, ou volant, V qui s'y trouve fixé.

Une courroie qui s'enroule autour du volant, V, permet d'exécuter toute espèce de travail mécanique. On peut donc, en adaptant cette courroie à l'axe de la machine qu'on veut faire travailler, battre les grains, manœuvrer des pompes, exécuter enfin toute action qui demande l'emploi d'un moteur. EE est le tuyau de la cheminée, que l'on a rendu mobile au moyen d'une charnière, pour que l'appareil occupe moins de place dans le cellier ou sous le hangar, quand il ne fonctionne pas.

La locomobile, qui avait rendu dans les travaux agricoles des services signalés, entra, à partir de l'année 1860 environ, dans les villes et dans les exploitations manufacturières, pour y exercer différents travaux qui avaient été réservés jusque-

là à la main de l'homme. La locomobile est donc aujourd'hui un *moteur à toute fin*, c'est-à-dire qui exécute tous les travaux qu'on lui demande et qui a l'avantage de se transporter, comme un serviteur docile, là où son usage est réclamé. Elle remplace les moteurs animés, c'est-à-dire le travail de l'homme ou du cheval.

Dans les constructions des maisons et édifices la locomobile fait l'office de l'ouvrier ou du cheval pour préparer le mortier ou le béton nécessaires à la maçonnerie. Une locomobile fait tourner un arbre de couche, pourvu d'une large poulie. Une courroie posée sur cette poulie met en action le mécanisme au moyen duquel l'eau d'une part, le ciment et la chaux d'autre part, sont versés en proportions convenables, dans des vases d'un volume déterminé, et après s'être mélangés dans un baquet, sont soumis à l'agitation, pour composer un mélange intime qui constitue le mortier ou ciment. Cet appareil accélère beaucoup le travail des maçons.

Dans les chantiers de maçonnerie d'une certaine importance

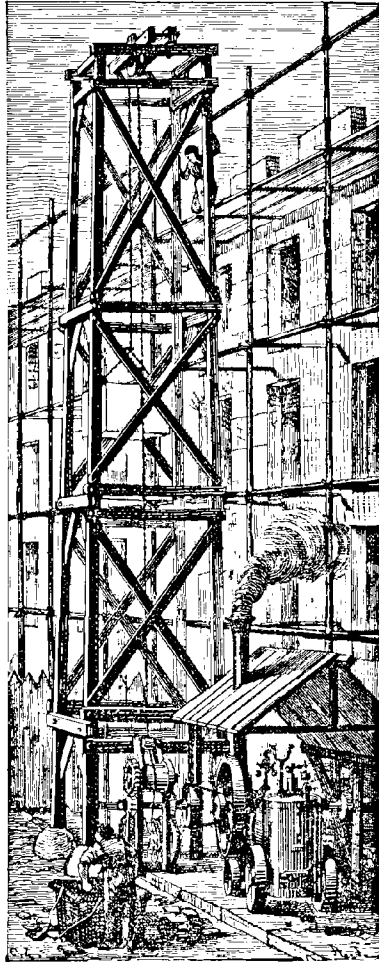


Fig. 236. Monte-charge à vapeur pour les constructions.

c'est une locomobile qui hisse les matériaux au niveau de chaque étage de la construction. A cet effet, comme le représente la figure 236, une courroie qui va de l'axe moteur de la locomobile à un arbre tournant muni d'une chaîne pouvant

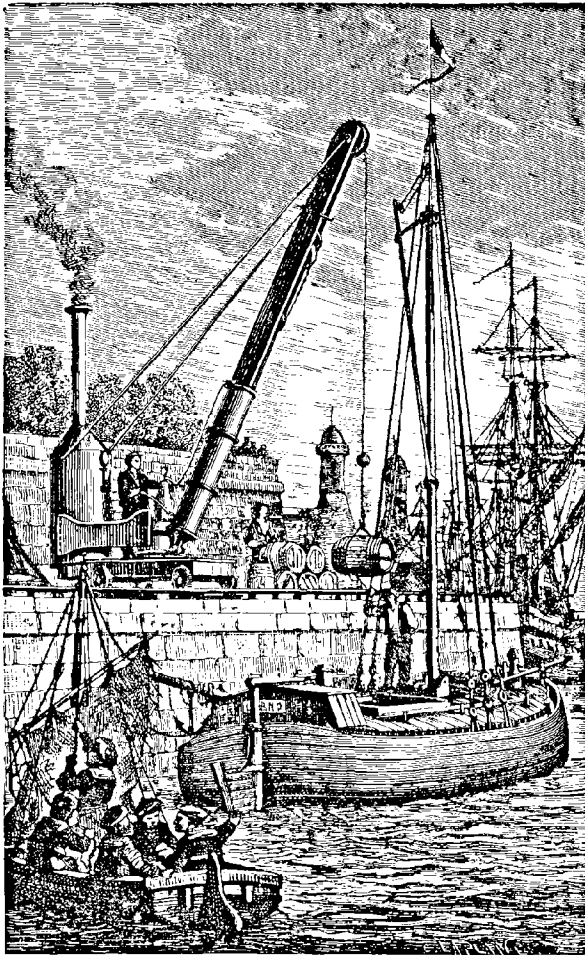


Fig. 237. Grue à vapeur.

s'enrouler et se dérouler autour de cet arbre, élève les matériaux, pierre taillée, plâtre, pierre meulière, etc., jusqu'au niveau occupé par les travailleurs.

Dans les constructions sur pilotis, pour soulever le *mouton* qui doit enfoncer les pieux dans le sol des rivières, c'est une

locomobile amenée sur un radeau, qui élève le mouton, pour le laisser retomber par son poids, quand on lâche la vapeur dans l'air, en tirant un cordon qui fait ouvrir une soupape donnant issue à cette vapeur.

Les *grues à vapeur* se voient fréquemment dans nos ports de mer. Sur la Seine, à Paris, elles fonctionnent à peu près continuellement. La force de la vapeur mise en jeu dans une locomobile placée elle-même au bord de l'eau, élève hors du bateau les marchandises à décharger. C'est ce que l'on voit représenté dans la figure 237.

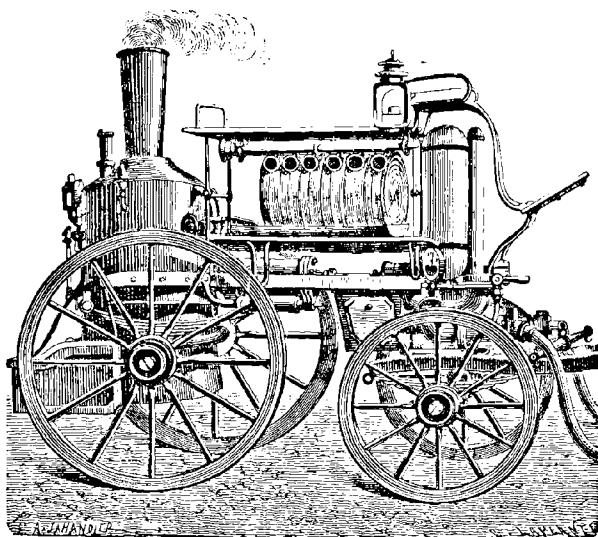


Fig. 238. Pompe à incendie à vapeur.

Les locomobiles rendent un grand service aux populations des grandes villes par l'application qui en a été faite, depuis quelques années, aux pompes à incendie. Les pompes à incendie actionnées par la vapeur offrent l'avantage, immense dans le cas dont il s'agit, de fournir sur le lieu de l'incendie la force mécanique qui fait trop souvent défaut dans ces circonstances dangereuses et pressantes. En effet, la vapeur appliquée à faire agir les pistons des pompes remplace avec efficacité le travail des hommes, et supprime la classique *chaîne*, qui a souvent plus d'inconvénients que d'avantages.

Nous représentons dans la figure 238 une pompe à

incendie à vapeur portée sur une locomobile. La chaudière, qui appartient au système Fuld, produit en 8 minutes la vapeur nécessaire pour actionner les pompes. Elle est assez puissante pour lancer 900 litres d'eau par minute, à 45 mètres de hauteur.

Une application très intéressante qui a été faite depuis l'année 1865, de la locomobile à l'empierrement des routes, c'est le *compresseur du macadam*, que tout le monde voit fonctionner dans les rues des grandes villes, pour écraser l'empierrement des voies publiques.

Autrefois, pour écraser le *macadam*, on se servait d'une file de chevaux. Mais on apportait ainsi de grandes entraves à la

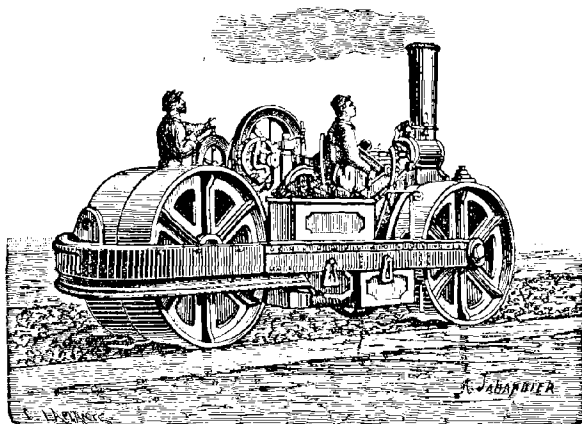


Fig. 239. Rouleau-compresseur du macadam à vapeur.

circulation. Ces longs attelages mettaient plus de temps à se retourner qu'ils n'en employaient au parcours lui-même. Une locomobile puissante remplace aujourd'hui les 10 à 12 chevaux que l'on attelait autrefois au *compresseur*, et fait disparaître tous les inconvénients qui se rattachaient à l'emploi des chevaux. La figure 239 représente le *compresseur à vapeur*.

La vapeur produite par la chaudière de la locomobile s'introduit dans deux cylindres moteurs. La tige du piston de chaque cylindre met en action l'axe d'une petite roue dentée. Sur cette roue est fixée une chaîne de fer à maillons articulés, qui va s'enrouler autour d'une large roue dentée faisant corps avec le rouleau compresseur. Le rouleau tourne et, par le

pois de la machine, la fait avancer sur le sol. Le second rouleau placé en avant est également pourvu d'une chaîne dont les maillons articulés la font tourner et avancer en même temps que la grande roue. Chacun des deux rouleaux est mis en action par un cylindre à vapeur. Le foyer de la locomobile n'est pas apparent. Un panache de vapeur s'élevant par intervalles par le tuyau soufflant est la seule manifestation extérieure de la puissance mécanique de cet engin énorme.

Comme dans les locomotives, le mouvement peut se faire d'arrière en avant ou d'avant en arrière, selon que l'on renverse la vapeur dans un sens ou dans un autre. Il n'y a donc pas de nécessité de *retournement*. De cette manière la rue n'est pas encombrée, et il est plus facile de diriger le travail.

Le *compresseur du macadam* se déplace avec facilité et sans trop de bruit. Il était donc naturel de songer à appliquer à la locomotion sur les routes ce même appareil, allégé et modifié. C'est ce qui a été fait par la construction de nouvelles *voitures à vapeur*.

Nous disons de *nouvelles voitures à vapeur*, car l'idée d'appliquer la vapeur à la locomotion sur les routes ordinaires est déjà bien ancienne.

L'emploi d'une machine à vapeur pour tirer les voitures sur les routes ordinaires fut essayé, dès les premiers temps de la découverte du puissant moteur dont nous nous occupons. Au commencement de ce siècle, Olivier Evans, en Amérique, d'une part; Trevithick et Vivian, en Angleterre, d'autre part, construisaient des machines à vapeur à haute pression, qu'ils adaptaient à des voitures destinées à rouler sur les grands chemins. Ainsi se trouvèrent créées les *voitures à vapeur*.

Jusqu'en 1830, on s'efforça de perfectionner ces scabreux et difficiles engins. On y était parvenu dans une certaine mesure, puisque des services publics furent établis pour le transport des voyageurs par des voitures à vapeur, tant en Angleterre qu'en Belgique.

Dès l'année 1826, on voyait circuler de Londres à Paddington un landau mù par la vapeur.

Cette machine fut perfectionnée en 1834, et présenta une forme mieux appropriée au service des voyageurs. C'était une assez grande voiture à quatre roues. On y entraît par une

portière placée sur le devant. Le conducteur dirigeait l'avant-train au moyen d'une manivelle. Le mécanisme et la chaudière à vapeur étaient cachés sous la caisse de la voiture.

M. Stéphane Flachat, dans son ouvrage sur *l'Exposition de 1834*, qui a pour titre *l'Industrie*¹, a donné une gravure représentant cette précoce locomobile.

En 1832, un véritable service de voitures à vapeur fut établi aux portes de Bruxelles.

En 1834, Paris s'occupa beaucoup d'une *diligence à vapeur*, qui parcourut à plusieurs reprises la route de Paris à Versailles. L'inventeur, appelé Dietz, s'inspirait des lumières d'un habile physicien, Galy-Cazalat. La voiture partait du milieu de la place du Carrousel, de ce curieux *Hôtel de Nantes*, qui à cette époque se dressait isolé, au milieu de la vaste place, en face du palais des Tuileries.

Mais la voiture de Dietz était lourde et bruyante. La fumée qu'elle jetait incommodait les passants et effrayait les chevaux. Les fortes rampes de la route de Versailles l'essoufflaient. Bref, après bien des péripéties, l'inventeur fut ruiné. A bout de ressources, il disparut, et l'on n'entendit plus parler de lui.

Bien d'autres essais ont été faits depuis Dietz, pour créer des voitures à vapeur. Nous citerons seulement le plan d'une voiture de ce genre qui fut conçu par le baron Séguier, et exécuté par lui, de concert avec le mécanicien Pecqueur.

L'insuccès de toutes ces tentatives avait fait abandonner l'idée des locomobiles routières lorsque, comme nous l'avons dit plus haut, le spectacle des *compresseurs du macadam* mus par la vapeur et qui se déplaçaient à l'intérieur des villes avec beaucoup de facilité et sans effrayer les chevaux, ramena, vers 1860, l'attention sur ce genre de véhicule, oublié depuis trente ans.

A Nantes, en 1864, un habile mécanicien, M. Lotz, construisit une locomobile routière qui donna des résultats intéressants.

La locomobile routière de M. Lotz, que représente la figure 240, porte avec elle son tender. La chaudière est montée sur quatre roues; le train de devant est mobile autour d'une cheville ouvrière, comme dans les voitures ordinaires. Placé au-dessus de la chaudière, le mécanisme est apparent à l'exté-

1. Grand in-8. Paris, 1834, p. 134.

rieur. Le mouvement de l'arbre moteur est transmis à l'une des roues de derrière par une chaîne sans fin, qui engrène avec une roue verticale solidaire de l'essieu.

La voiture à vapeur de M. Lotz fit sans encombre, au mois de septembre 1866, le voyage de Nantes à Paris. Elle franchit en huit jours la distance de 400 kilomètres qui sépare ces deux villes.

L'année suivante, un mécanicien du département de l'Ain, M. Albaret, de Liancourt, créa une nouvelle locomobile routière.

Cette locomobile descendit la rampe qui va de Laon à la

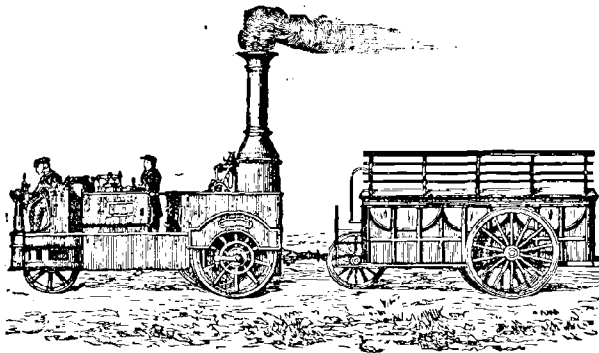


Fig. 240. Voiture à vapeur, système Lotz.

gare, avec une vitesse moyenne de 8 kilomètres à l'heure, traînant une charge de 5000 kilogrammes.

On ne pouvait plus dès lors déclarer que la locomotion par la vapeur sur les routes était impossible. Un arrêté fut donc rendu, le 20 avril 1866, autorisant la circulation des voitures à vapeur sur les routes.

Cet arrêté ministériel imprima une certaine impulsion à l'industrie nouvelle des transports sur les routes par les véhicules à vapeur. On perfectionna leur mécanisme le mieux possible, sans arriver néanmoins à les rendre pratiques, ni à diminuer les frais considérables de ce mode de transport.

MM. Lotz, de Nantes, se distinguèrent dans cette voie nouvelle et difficile.

Avec une charge de 5 à 6 tonnes, la locomobile Lotz faisait 16 kilomètres à l'heure sur une route en bon état avec

des pentes de 0^m,07 à 0^m,13; elle remorquait de 12 à 15 tonnes, avec une vitesse de 6 kilomètres.

En Angleterre, MM. Aveling et Porter, de Rochester, dans le comté de Kent, ont construit de nouvelles locomobiles routières. Ils font usage d'une voiture à cinq roues. Un homme assis sur le devant de la locomotive manœuvre les roues de devant et fait tourner le véhicule avec la plus grande facilité à l'aide d'une petite roue verticale analogue à celle dont se sert le timonier à bord des navires.

Un constructeur d'Edimbourg, M. Thomson a imaginé de garnir les jantes des roues motrices de la machine de bandes de caoutchouc vulcanisé. Grâce à l'élasticité du caoutchouc, les roues ne s'enfoncent pas dans le sol. Une locomobile routière de M. Thomson a pu circuler dans une prairie sans laisser de fortes traces de son passage. Sur une route horizontale, elle peut remorquer 30 tonnes avec une vitesse variant de 4 à 10 kilomètres à l'heure. Sa force effective est de 16 à 18 chevaux.

En Angleterre, on emploie les voitures à vapeur de M. Thomson au transport du charbon de la mine aux usines voisines. A Edimbourg, M. Thomson a appliqué sa locomotive à la traction des omnibus.

En 1875, un mécanicien du Mans, M. Bollée, a construit et fait circuler, du Mans à Paris, une nouvelle voiture à vapeur, sur laquelle M. Tresca a fait, en novembre 1875, un rapport favorable à l'Académie des sciences. Cette locomobile routière parcourt 15 kilomètres par heure en plaine, 12 à 15 kilomètres sur les voies fréquentées. Mais ce qui la distingue particulièrement, c'est une disposition du mécanisme de l'avant-train, en vertu de laquelle le conducteur peut ralentir, arrêter, accélérer la vitesse et détourner le véhicule à volonté. « C'est, dit M. Tresca, un progrès sérieux, sinon décisif, dans l'histoire de la locomotion à vapeur. »

A la même époque, MM. Lotz ont beaucoup perfectionné leur modèle de 1864. Leur *locomobile routière* présente les dispositions que montre la figure 241.

La chaudière horizontale a été remplacée par une chaudière verticale. Ils ont ainsi reporté la plus grande partie de la charge sur les roues motrices et laissé au mécanicien une plate-forme étendue, par laquelle il communique aisément avec le conducteur, ce qui, dans la première machine, était

presque impossible. Trois pignons, de diamètre variable, peuvent donner trois vitesses différentes ; un volant régularise la marche de la machine. Ces dispositions permettent de triompher des inégalités du chemin ou des obstacles accidentels et de gravir les parties en rampe.

L'*injecteur Giffard* assure l'alimentation ; une pompe à eau sert à l'approvisionnement d'eau.

Malgré toutes ces inventions récentes, nous ne croyons pas beaucoup à l'avenir des locomobiles appliquées au transport des voyageurs. Les routes présentent trop de rampes et sont trop mal entretenues pour permettre un service régu-

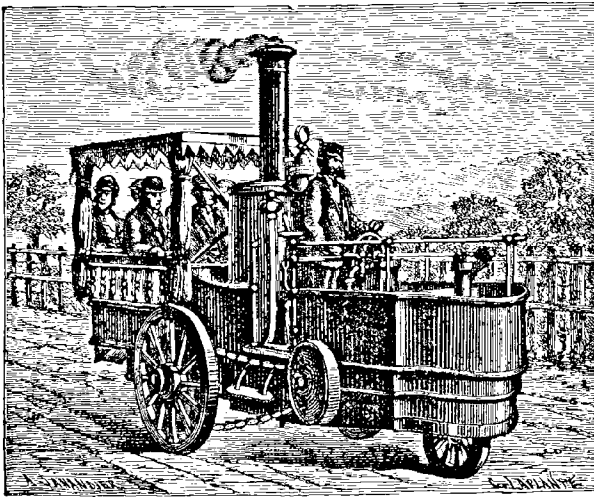


Fig. 241. Nouvelle locomobile routière à vapeur de M. Lotz.

lier de ces véhicules. La locomobile routière dégrade promptement les chemins et s'enfonce dans ses ornières. La rencontre des voitures et des chevaux crée des dangers réels. La force de la machine est trop uniforme pour remplacer avec avantage l'effort intelligent du cheval, lequel accroit ou réduit sa force selon les nécessités et les accidents du voyage. Le véritable avenir des locomobiles routières se résume dans les transports, particuliers à quelques grandes industries, qui exigent des voyages à peu de distance de matières lourdes, sur des routes qui leur sont spécialement affectées. Les sucreries, les papeteries, les briqueteries, les mines, industries

qui mettent en œuvre ou produisent quantité de matières encombrantes, et qui ont à apporter des matériaux lourds et nombreux, se servent ou se serviront avec avantage des locomobiles routières.

Dans ces conditions les locomobiles routières remplaceront avec économie les bêtes de trait, et elles réaliseront une véritable économie. Comme dans les ateliers industriels les mécaniciens ne manquent pas, il sera toujours facile de se pourvoir de bons ouvriers pour la direction, l'entretien et la réparation de ces appareils.

Limité à cet emploi, le rôle de la locomobile routière ne perd aucunement de son importance et les services qu'elle peut rendre sont à l'abri de toute contestation.



XIX

LA MACHINE ÉLECTRIQUE

La science de l'électricité dans l'antiquité et le moyen âge. — Guillaume Gilbert et Otto de Guericke. — La machine électrique d'Hauksbée. — Découverte du transport de l'électricité à distance. — Travaux de Dufay. — Modifications successives de la machine électrique jusqu'à nos jours. — Machine électrique de l'abbé Nollet. — Machine de Ramsden. — Machine de Nairne. — *L'expérience de Leyde*. — Vitesse de transport de l'électricité. — Construction définitive de la bouteille de Leyde. — Analyse physique de la bouteille de Leyde.

La science de l'électricité est entièrement moderne. Tout ce que les anciens nous ont transmis à ce sujet, c'est la connaissance de la propriété qui est propre à l'ambre jaune, d'attirer les corps légers. Thalès, chez les Grecs, 600 ans avant Jésus-Christ, Plin, chez les Romains, au premier siècle de l'ère chrétienne, ne connaissaient rien de plus que ce fait vulgaire de l'attraction des corps légers par l'ambre et la résine.

La philosophie des anciens aimait à détacher ses yeux des objets terrestres, pour s'envoler vers les choses idéales et les contemplations abstraites. Aussi la physique ne fut-elle que peu avancée chez les Grecs et les Romains, sans toutefois que leurs connaissances aient été nulles dans cette science.

Approfondissant les mots au lieu d'approfondir les choses, la philosophie du moyen âge n'était pas mieux en mesure que l'antiquité de découvrir et de développer la partie de la science qui nous occupe. Il faut attendre jusqu'à la fin du seizième siècle pour voir naître l'étude de l'électricité, en même temps que la méthode expérimentale dans les sciences.

Guillaume Gilbert, de Colchester, médecin de la reine Éli-

sabeth d'Angleterre, après avoir étudié le phénomène de l'attraction du fer par l'aimant, eut l'idée d'examiner l'attraction des corps légers par l'ambre, qui lui semblait, avec juste raison, un phénomène du même ordre. Pour se livrer à ces expériences, il plaçait sur un pivot une aiguille légère, pareille à celle de nos boussoles et composée d'un fêtu de paille ou de bois très mince. Ainsi disposée, cette aiguille était excessivement mobile, la plus petite attraction électrique la faisait tourner sur son pivot.

Guillaume Gilbert eut bientôt l'idée de s'assurer si d'autres corps que l'ambre et les résines jouiraient de la propriété

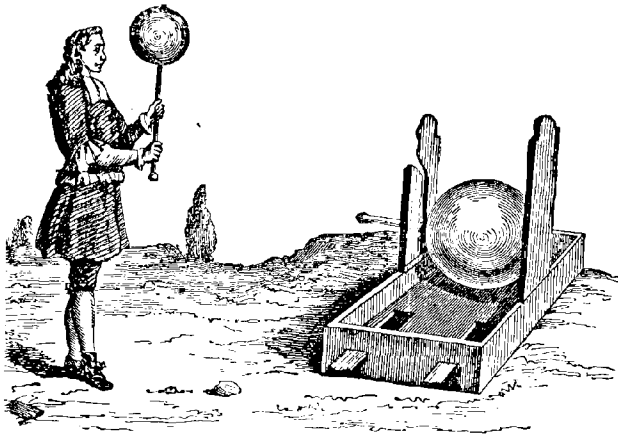


Fig. 242. Première machine électrique (machine d'Otto de Guericke).

d'attirer les corps légers. Il reconnut alors que le diamant, le saphir, le rubis, l'opale, l'améthyste, le cristal de roche, le verre, le soufre, la cire d'Espagne, etc., après des frictions préalables, attiraient son aiguille de paille.

Gilbert fit encore d'autres essais, mais sans pouvoir en tirer de conclusion générale. Il lui manquait, en effet, un instrument pour faire des observations rigoureuses. Il n'avait employé dans le cours de ses expériences qu'un tube de la matière susceptible de s'électriser, qu'il frottait avec un morceau de laine et qu'il approchait ensuite du corps léger disposé en forme d'aiguille et posé sur un pivot.

C'est un bourgmestre de la ville de Magdebourg, Otto de Guericke, qui, vers 1650, construisit la première machine

électrique que les physiciens aient eue à leur disposition. Elle consistait en un globe de soufre qu'on faisait tourner rapidement d'une main, avec une manivelle, et que l'on frottait, de l'autre main, avec une pièce de drap.

La figure 242 qui reproduit exactement une planche du traité d'Otto de Guericke, *Experimenta nova Magdeburgica*, représente cette machine électrique rudimentaire.

Un physicien anglais, Hauksbée, ayant remplacé le globe

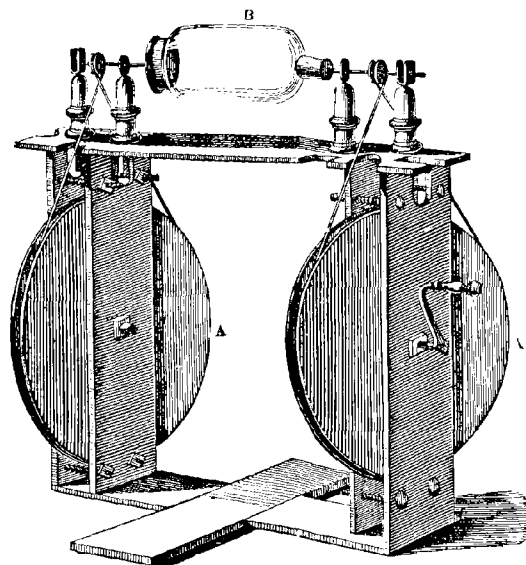


Fig. 243. Machine électrique d'Hauksbée.

de soufre de la machine d'Otto de Guericke par un cylindre de verre qu'on frottait au moyen de la main, obtint une machine électrique plus puissante.

La figure 243, tirée de l'ouvrage d'Hauksbée, *Experiences physico-mécaniques*, fait voir la disposition de cette machine. A l'aide de deux roues pleines, A, A, que l'on faisait tourner par une manivelle, on mettait en rotation un cylindre de verre, B, et on appliquait la main sur le cylindre en rotation, pour électriser le verre par ce frottement.

Malheureusement pour la science, cet instrument ne fut pas adopté; on en revint au simple tube de verre de Gilbert, qu'on frottait avec une étoffe de laine.

En 1792, Grey et Wehler, physiciens anglais, firent une découverte capitale : celle du transport de l'électricité le long de certains corps, qu'ils nommèrent *conducteurs*.

Dans la suite de leurs belles recherches, ces deux physiciens furent amenés à diviser les corps en *corps conducteurs* et en *corps non conducteurs de l'électricité*. Grey et Wehler reconnurent que le verre, la résine, le soufre, le diamant, les huiles, etc., arrêtent le passage du fluide électrique, tandis que les métaux, les liqueurs acides ou alcalines, l'eau, le corps des animaux, etc., lui laissent un libre cours.

Les deux physiciens anglais avaient donc découvert le transport de l'électricité à distance, et de plus, ils avaient divisé tous les corps de la nature en *électriques* et *non électriques*, c'est-à-dire en mauvais et bons conducteurs. C'étaient deux premiers pas, et deux pas immenses, dans la science, alors si nouvelle, de l'électricité.

Jusque-là, les faits observés dans l'étude expérimentale de l'électricité étaient assez nombreux, mais extrêmement confus. Il fallait les relier entre eux, les expliquer ; en un mot, créer la théorie de l'électricité.

Dufay, naturaliste et physicien français, membre de l'Académie des sciences, et prédécesseur de Buffon comme intendant du Jardin des Plantes de Paris, eut le mérite de jeter les fondements de cette théorie. Le système d'explication des phénomènes électriques imaginé par Dufay a permis jusqu'à nos jours de se rendre compte de tous ces phénomènes d'une manière simple et commode.

Grey avait divisé les corps en *électrisables* et *non électrisables* par le frottement. Dufay prouva que tous les corps étaient électrisables, à la condition d'être isolés, c'est-à-dire tenus avec un manche de résine ou de verre. Il fit voir également que les substances organiques ne doivent leur conductibilité qu'à l'eau qu'elles contiennent.

Mais le vrai titre de gloire de Dufay consiste à avoir établi les deux principes théoriques suivants, qu'il énonça en ces termes :

« 1^o Les corps électrisés attirent tous ceux qui ne le sont pas, et les repoussent dès qu'ils sont devenus électriques par le voisinage ou par le contact d'un corps électrisé.

« 2^o Il y a deux sortes d'électricités, différentes l'une de l'autre : l'é-

lectricité *vitree* et l'électricité *résineuse*. La première est celle du verre, des pierres précieuses, du poil des animaux, de la laine, etc. ; la seconde est celle de l'ambre, de la soie, du fil, etc. Le caractère de ces deux électricités est de se repousser elles-mêmes et de s'attirer l'une l'autre. Ainsi, un corps animé de l'électricité vitrée repousse tous les autres corps qui possèdent l'électricité vitrée, et, au contraire, il attire tous ceux de l'électricité résineuse. Les corps résineux pareillement repoussent les résineux et attirent les vitrés ¹. »

Faisons remarquer que le dernier de ces principes peut servir à reconnaître quelle espèce d'électricité possède un corps électrisé. En effet, étant donné un corps électrisé, on veut connaître la nature de l'électricité qu'il renferme, c'est-à-dire si c'est du fluide vitré ou du fluide résineux. Approchez de ce corps un fil de soie électrisé résineusement : si le fil est attiré, c'est que le corps est chargé d'électricité vitrée ; si le fil est repoussé, c'est que le corps est chargé d'électricité résineuse. C'est là le principe d'un appareil très important qu'on nomme *électromètre*, et qui sert à la fois à déterminer la présence, la nature et l'intensité de très faibles quantités de fluide électrique.

Le physicien Dufay devint populaire en France quand il eut montré que le corps humain peut fournir des étincelles électriques. Il s'était placé sur une petite plate-forme, soutenue par des cordons de soie qui servaient à l'isoler, et il se faisait toucher avec un gros tube de verre frotté, pour électriser son corps. Un jeune savant, dont le nom devint plus tard célèbre, l'abbé Nollet, qui lui servait d'aide, tirait de vives étincelles quand il approchait son doigt de la jambe de Dufay.

Nous avons dit plus haut que la machine électrique d'Hauksbée avait été rejetée par les expérimentateurs. En 1733, un physicien allemand, nommé Boze, construisit une machine qui n'était autre chose que celle d'Hauksbée, dans laquelle seulement un globe de verre remplaçait le globe de soufre. La machine de Boze se composait, en effet, d'un globe de verre creux, traversé par une tige de fer et qu'on faisait tourner à l'aide d'une manivelle, pendant qu'une main bien sèche, appuyant sur ce globe, y développait de l'électricité par le frottement. Un conducteur de fer-blanc, sur lequel s'accu-

1. Les physiciens modernes se servent des mots *positive* et *negative* pour désigner l'électricité vitrée et l'électricité résineuse.

mulait et se conservait le fluide, était porté par un homme monté sur un gâteau de résine.

Wolfius et Hausen modifièrent un peu la forme de cette machine, en la munissant de gros conducteurs isolés au moyen de cordons de soie suspendus au plafond ou portés sur des pieds de verre.

Bientôt après, Winckler, professeur de langues grecque et latine à l'Université de Leipsig, substitua un coussin à la main de l'opérateur.

Cette dernière modification ne fut pas d'abord générale-

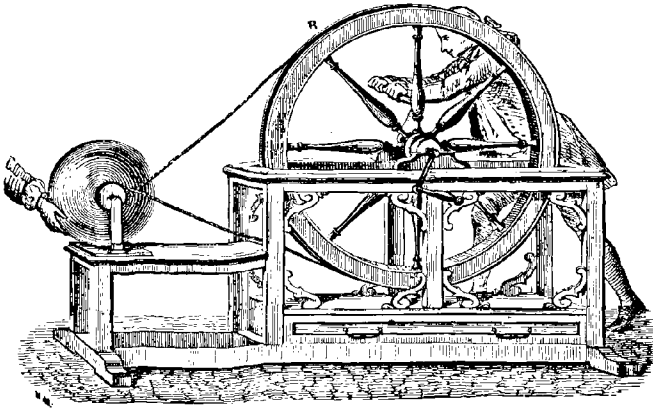


Fig. 244. Machine électrique de l'abbé Nollet.

ment goûtée. Elle fut repoussée en France, surtout par l'abbé Nollet, qui construisit et fit adopter généralement la machine que représente la figure 244.

Cette machine se compose d'un globe de verre, A, que l'on fait tourner au moyen d'une roue, B, recevant, dans une gorge ou rainure, une corde qui s'enroule sur l'axe du globe de verre. Un aide présente la main au globe en rotation, A; par le frottement qui en résulte, l'électricité qui se forme demeure accumulée sur le globe de verre ou de soufre. La machine électrique de l'abbé Nollet fut pendant longtemps en usage en France.

Vers l'année 1768, un opticien anglais, nommé Ramsden, substitua au globe de verre de la machine de Nollet un plateau circulaire de la même substance. Le plateau frottait en tournant contre quatre coussins de peau rembourrés de crin;

l'électricité développée sur ce plateau de verre passait ensuite sur deux conducteurs métalliques isolés par des pieds de verre. En 1770, l'usage de cette machine était général en Europe.

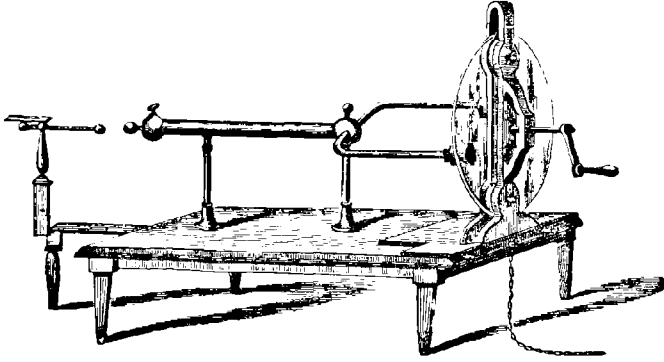


Fig. 245. Machine électrique de Ramsden.

La figure 245 représente la machine électrique de l'opticien anglais, qui a servi de modèle à la machine actuellement usitée.

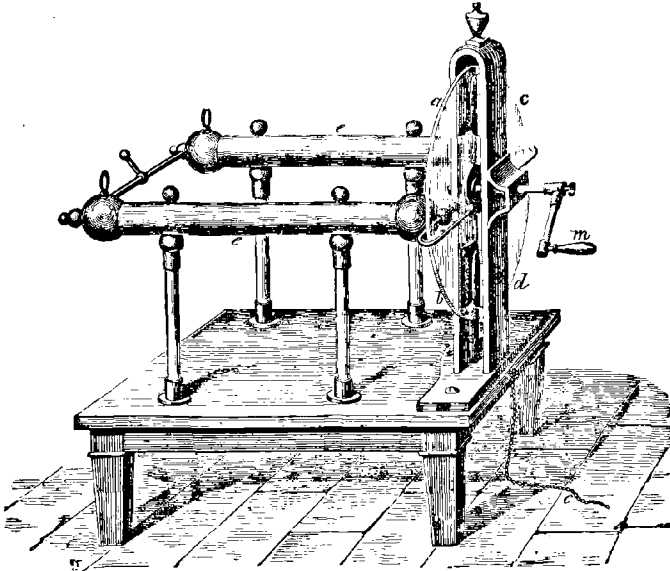


Fig. 246. Machine électrique moderne.

En effet, la machine électrique généralement employée aujourd'hui est celle de Ramsden, modifiée en ce sens qu'elle a deux conducteurs au lieu d'un. La figure 246 représente cette machine.

Voici comment il faut expliquer le développement de l'électricité dans cette machine, et sa transmission aux conducteurs qui doivent la recueillir et la conserver.

L'électricité positive développée par le frottement des coussins, sur le plateau de verre, *a b c d* (fig. 246), décompose, *par influence*, le fluide naturel des conducteurs *e, e*. L'extrémité de ces conducteurs est armée de pointes, par l'action desquelles le fluide naturel de ces conducteurs est décomposé. Le fluide négatif passe, en franchissant l'intervalle d'air qui les sépare, sur le plateau *a b c d*, pour ramener à l'état naturel l'électricité positive répandue sur ce plateau *a b c d*, tandis que le fluide positif reste accumulé sur les mêmes conducteurs *e, e*. Des tiges de verre supportent et isolent ces conducteurs.

On se sert aujourd'hui en Angleterre de la machine électrique construite au commencement de notre siècle, par le physicien Nairne, dans laquelle le plateau de verre est remplacé par un cylindre creux de la même matière.

La figure 247 représente la machine de Nairne.

A est le cylindre de verre, qui tourne à l'aide d'une manivelle. En tournant, le cylindre de verre frotte contre un coussin de cuir, auquel est attachée une toile cirée. Par ce frottement, il se dégage de l'électricité; le verre prend l'électricité positive, et le coussin l'électricité négative. Un conducteur B, sur lequel est fixé le coussin, reçoit donc une forte charge d'électricité négative.

Le mouvement de rotation du cylindre de verre amène l'électricité positive dont le verre est chargé, en présence d'un second conducteur armé de pointes et isolé C. Dès lors, le fluide naturel de ce conducteur C est décomposé. Son électricité négative est attirée par l'électricité contraire du cylindre de verre, et il se fait, du cylindre de verre aux pointes, un écoulement continu de fluides contraires. Comme chaque conducteur B et C est muni de deux tiges courbes articulées, qui peuvent s'approcher ou s'éloigner à la volonté de l'opérateur, on effectue la recombinaison des fluides entre les deux extrémités de ces conducteurs, de sorte qu'une série d'étincelles ne cesse de jaillir entre les deux tiges de métal, au point D.

Quand la neutralisation des deux fluides est effectuée, le

cylindre de verre, revenant au coussin, reprend une nouvelle quantité d'électricité positive issue du frottement, et le phénomène continue ainsi sans interruption.

Quand on veut se procurer une source d'électricité, il suffit

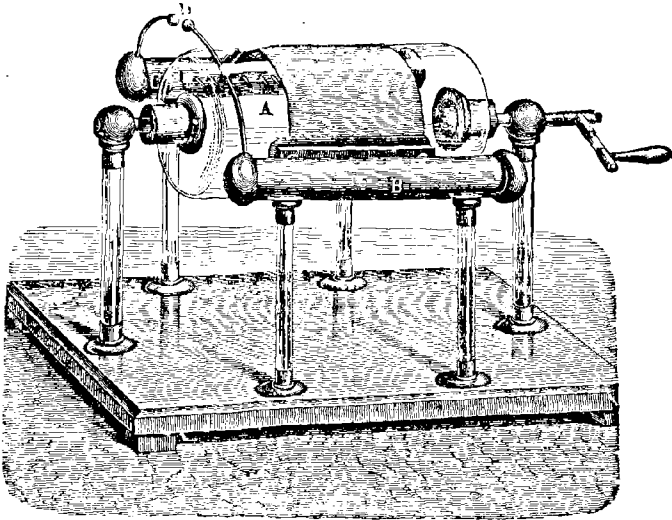


Fig. 247. Machine électrique de Nairne.

d'éloigner l'une de l'autre les tiges mobiles, et d'attacher une tige conductrice métallique au conducteur B. On a ainsi un écoulement continu d'électricité positive.



Les corps électrisés exposés librement à l'air y perdent rapidement leur électricité, parce que l'air est bon conducteur du fluide électrique. Un physicien de Leyde, Musschenbroek, s'occupait un jour d'électriser de l'eau dans une fiole de verre, espérant qu'en raison de la mauvaise conductibilité du verre, l'eau recevrait une plus grande masse d'électricité et la conserverait plus longtemps. Comme l'expérience ne présentait rien de particulier, Musschenbroek voulut retirer la fiole : il la saisit d'une main, et approcha l'autre main du conducteur métallique qui amenait dans l'eau l'électricité de la machine. Quels ne furent pas sa surprise et son effroi de se sentir frappé

d'un coup violent sur les bras et la poitrine? Musschenbroek se crut mort. Il disait plus tard qu'il ne s'exposerait pas à une nouvelle décharge semblable, quand on lui offrirait la couronne de France.

La figure 248, qui accompagne un mémoire publié par l'abbé Nollet dans les *Mémoires de l'Académie des sciences de Paris*, montre très clairement comment l'expérience fut exécutée, et comment le physicien de Leyde dut ressentir

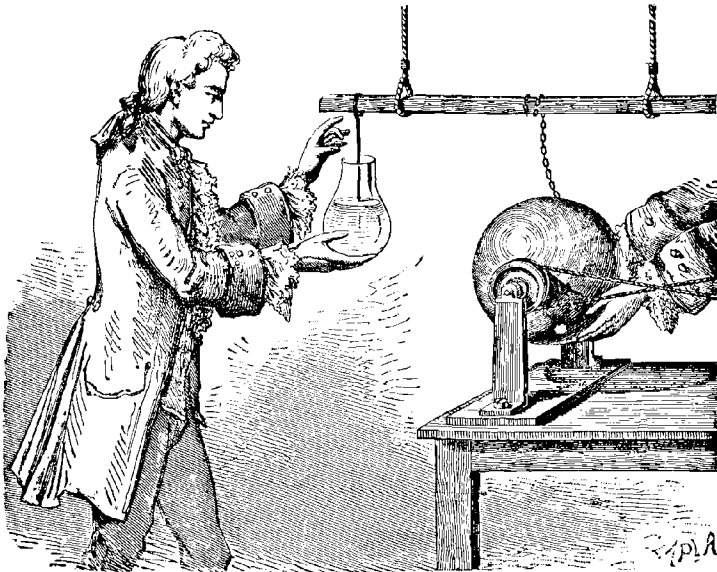


Fig. 248. Électrisation de l'eau. — Expérience de Musschenbroek qui amena à construire la *bouteille de Leyde*.

la commotion quand il mit l'eau électrisée en communication, à travers son corps, avec le conducteur métallique électrisé.

A Paris, l'abbé Nollet répéta sur lui-même cette expérience. Elle réussit si bien que la commotion lui fit tomber des mains le vase plein d'eau.

Nollet répéta à Versailles, devant le roi et la cour, l'*expérience de Leyde*, en l'agrandissant singulièrement. Il donna la commotion électrique à toute une compagnie de gardes françaises, composée de 240 hommes, qui se tenaient par la main, formant ce que l'on appela dès lors la *chaîne électri-*

que. La commotion se fit sentir au même instant à tous les soldats.

Quelques jours après, l'abbé Nollet soumit à la même épreuve les religieux du couvent des Chartreux. La commotion fut éprouvée simultanément par toutes les personnes qui composaient la chaîne.

Tout le monde s'étonnait de la rapidité prodigieuse avec laquelle le fluide électrique se transportait d'un point à un



Fig. 249. L'abbé Nollet fait éprouver la commotion électrique à une compagnie de gardes françaises.

autre. On essaya de mesurer la vitesse de transport de ce fluide. En France, Lemonnier, membre de l'Académie des sciences à Paris, fit, dans ce but, un grand nombre d'expériences. Dans l'une de ces expériences, une personne placée à l'extrémité d'un conducteur de 250 toises ressentait la commotion au moment précis où elle voyait briller l'étincelle à l'autre extrémité de ce long conducteur.

En Angleterre, la commotion se fit sentir au même instant à deux observateurs séparés par la Tamise, l'eau du fleuve formant une partie de la chaîne conductrice. On put même

enflammer des liqueurs spiritueuses à l'aide d'un courant électrique qui avait traversé le fleuve.

On s'assura que la vitesse du passage du fluide électrique, dans un fil long de 12,376 pieds, était instantanée.

Ces belles expériences excitèrent l'enthousiasme de tous les physiciens de l'Europe et les conduisirent à entreprendre de nouvelles recherches. En France, Nollet modifia de plusieurs façons la célèbre expérience de Leyde. Il montre que la forme de l'appareil n'entre pour rien dans le résultat. Musschenbroek reconnaît ensuite que l'expérience échoue quand les parois extérieures de la bouteille sont humides. Waston, en Angleterre, prouve que le choc est plus violent quand le verre est plus mince, et que la force de la décharge augmente proportionnellement avec l'étendue de la surface du verre, son intensité étant indépendante de la force de la machine élec-

trique qui la provoque.

Un autre physicien anglais, Bevis, pensant que l'eau contenue dans la bouteille, et la main qui la tenait, jouaient seulement le rôle de conducteurs, remplaça l'eau par de la grenaille de plomb placée à l'intérieur de la bouteille. Une feuille d'étain, enveloppant la bouteille jusqu'à une certaine hauteur, remplaça la main qui tenait la bouteille. On put ainsi poser la bouteille sur un support en bois, sans que l'on eût besoin d'une personne pour la tenir.

C'est par cette série de découvertes successives, et quand on eut substitué des feuilles d'or à la grenaille de plomb, que la bouteille de Leyde reçut la forme qu'on lui donne aujourd'hui, et que représente la figure 250.

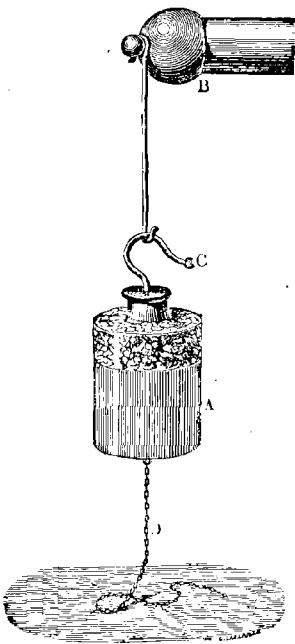


Fig. 250. Bouteille de Leyde en communication avec le conducteur d'une machine électrique.

A est l'armature extérieure de la bouteille que l'expérimentateur tient dans la main ; C, le crochet par lequel la bouteille est suspendue au conducteur, B, d'une machine électrique.

Tous les physiciens de l'Europe étaient restés impuissants à donner l'explication théorique de l'expérience de Leyde. C'est à l'illustre Benjamin Franklin que la science doit l'analyse des effets de cet instrument. Voici comment on se rend compte du phénomène depuis les travaux de Franklin.

Quand on met la bouteille de Leyde en communication avec le conducteur d'une machine électrique, fournissant par exemple du fluide positif, en suspendant le crochet C (fig. 250) à ce conducteur, le fluide positif passe dans les feuilles d'or, ou, comme on dit, dans la *garniture intérieure* de la bouteille. Là, il agit par influence, au travers du verre, sur la lame d'étain A, qui l'enveloppe à l'extérieur, et il décompose le fluide neutre de cette lame d'étain. Le fluide positif, repoussé, s'écoule dans le sol, en suivant la chaîne D, attachée à la *garniture extérieure*, A. Le fluide négatif, au contraire, est attiré; mais le verre de la bouteille, étant mauvais conducteur, l'arrête et ne lui permet pas d'aller former du fluide neutre avec le fluide positif qui existe à l'intérieur de la bouteille.

C'est ainsi qu'une masse considérable d'électricité s'accumule entre les deux garnitures, la garniture extérieure empruntant au sol avec lequel elle communique autant d'électricité que la garniture intérieure de la bouteille peut en accumuler.

Si maintenant on fait communiquer les deux garnitures, au moyen d'un arc métallique pourvu d'un manche isolant, les deux électricités se précipitent au-devant l'une de l'autre, et se combinent, pour reformer du fluide neutre, en donnant une brillante étincelle. S'il a l'imprudence de réunir les deux garnitures avec les mains, l'opérateur reçoit une vive secousse, parce que la recomposition des fluides se fait à l'intérieur même de son corps en provoquant un ébranlement physique considérable.

Quand on rassemble dans une boîte un certain nombre de bouteilles de Leyde, on augmente la masse d'électricité produite, et l'on obtient ce que l'on nomme une *batterie électrique*.

La figure 251 représente une batterie électrique. Pour la charger, on met l'armature extérieure en communication avec

le sol, au moyen d'une chaîne de fer, qui est attachée à l'une des poignées de fer de la caisse. Alors, au moyen d'une tige de cuivre, que l'on attache au crochet C, qui communique avec l'armature intérieure de toutes les bouteilles de Leyde, on fait arriver dans cette armature intérieure un courant d'électricité positive fourni par une machine électrique et l'on tourne la manivelle de cette machine. L'électricité positive

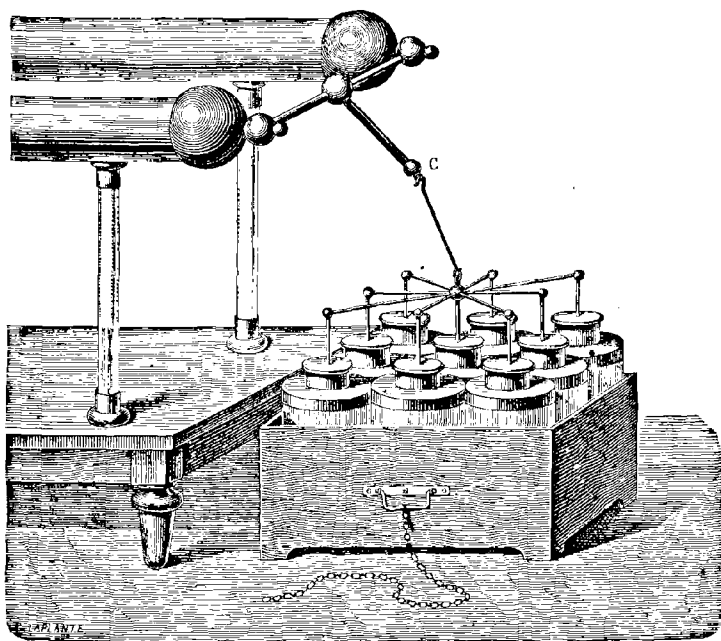


Fig. 251. Batterie électrique composée de la réunion de neuf bouteilles de Leyde.

de l'armature intérieure décompose le fluide naturel de l'armature extérieure, repousse l'électricité de même nom, qui s'écoule dans le sol, en suivant la chaîne, et attire l'électricité négative contre les faces de verre. Une grande masse d'électricité de même nature est ainsi accumulée, condensée et séparée par l'interposition du verre.

Si l'on veut décharger cette batterie, pour produire une étincelle énorme et un choc à l'avenant, il n'y a qu'à faire communiquer les deux armatures extérieure et intérieure. Par pru-

dence, il faut, si faible que soit la charge d'une batterie, opérer sa décharge avec un *excitateur*, c'est-à-dire avec un arc de métal porté sur deux manches de verre, comme le représente la figure 252.

L'électricité passe de l'armature extérieure, A, c'est-à-dire

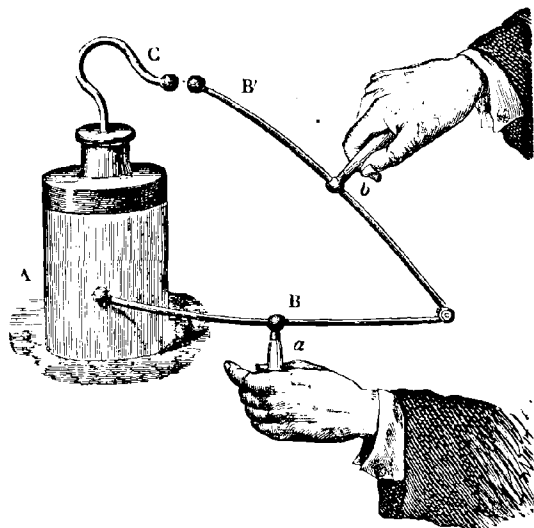


Fig. 252. Décharge d'une bouteille de Leyde au moyen de l'excitateur.

de l'enveloppe métallique de la bouteille, à l'arc, BB', sans traverser le corps de l'opérateur, qui est isolé de l'électricité au moyen des poignées de verre *a, b*. Quand l'extrémité de l'arc BB' est approchée, à une distance convenable, de l'extrémité C de la tige communiquant avec la garniture intérieure, l'étincelle s'élanche entre les deux corps ainsi mis en présence, et le fluide naturel se reconstitue, sans danger pour l'expérimentateur.



XX

LA PILE DE VOLTA

Découverte de l'électricité dynamique. — Travaux de Galvani. — Discussion entre Galvani et Volta. — La pile de Volta. — Décomposition de l'eau par la pile. — Suite des applications de la pile à la décomposition électro-chimique des corps. — Travaux de Davy. — Découverte de la pile à auges. — Formes nouvelles données à la pile de Volta. — Théorie de la pile. — Ses effets. — Découverte de l'électro-magnétisme.

Dans ce qui précède, il n'a encore été question que de l'électricité dite *statique*, c'est-à-dire en repos ; il nous reste à parler d'un état nouveau de l'électricité, l'état *dynamique*, c'est-à-dire l'électricité en mouvement. Jusqu'à la fin du dernier siècle, les physiciens n'ont connu que l'électricité obtenue par les machines à frottement, ou l'*électricité statique*. En 1791, Aloysius Galvani, professeur d'anatomie à Bologne, publia un travail résultant de onze années d'expérience, et dans lequel était révélée l'existence de l'électricité sous la forme de courant continu. L'électricité en mouvement, ou l'*électricité dynamique*, fut ainsi connue des hommes pour la première fois. C'était une branche de la physique entièrement nouvelle, et qui devait être féconde en applications merveilleuses. Donnons une idée des travaux de Galvani.

Un soir de l'année 1780, Galvani posa, par hasard, sur la tablette de bois qui servait de support à la machine électrique de son laboratoire, une grenouille, dont on avait séparé, d'un coup de ciseau, les membres inférieurs, en conservant les deux nerfs de la cuisse qui maintenaient ces membres appen-

du au tronc. Galvani reconnut qu'en approchant la pointe de son scalpel, tantôt de l'un, tantôt de l'autre des nerfs de la grenouille, au moment même où l'on tirait une étincelle de la machine électrique, des contractions violentes se manifestaient dans les muscles de l'animal.

Que se passait-il donc ? Quelle était la cause du phénomène qui émerveillait Galvani et ses amis ? Le corps de la grenouille, placé dans le voisinage de la machine électrique, s'électrisait par influence ; quand on enlevait tout à coup l'électricité répandue sur le conducteur, en tirant une étincelle de ce conducteur, l'influence cessant, le fluide neutre se reformait tout à coup à travers le corps de l'animal, et déterminait les contractions énergiques que l'on observait.

Galvani se rendit fort bien compte, par l'explication même que nous venons de donner, du curieux phénomène qu'il venait de provoquer chez la grenouille. Mais cette explication du fait ne l'arrêta pas dans ses recherches. Poursuivant son étude de l'action du fluide électrique sur les corps vivants, il expérimenta pendant six années consécutives, pour observer la manière dont la décharge de la machine électrique provoque chez les animaux des contractions musculaires. Le hasard le conduisit enfin à une observation fondamentale, à celle qui devint le germe de la découverte des courants électriques.

Le 20 septembre 1786, Galvani, voulant étudier l'influence de l'électricité atmosphérique sur les contractions musculaires de la grenouille, passa un crochet de cuivre au travers de la moelle épinière d'une grenouille préparée comme nous l'avons dit plus haut, et suspendit l'animal par ce crochet, à la balustrade de fer de la terrasse de sa maison. Il n'observa rien de toute la journée ; mais vers le soir, ennuyé de l'insuccès de cette expérience, il frotta vivement le crochet de cuivre contre le fer de la balustrade, pour rendre plus complet le contact des deux métaux. Il vit aussitôt les membres de l'animal se contracter, et ces mouvements se répétaient chaque fois que l'anneau de cuivre venait à toucher le fer du balcon de la terrasse. Cependant les instruments de physique n'indiquaient pas dans l'air la présence de l'électricité. La contraction était donc indépendante des causes extérieures : elle était propre à l'animal. Il y avait donc une *électricité animale*, comme Galvani l'avait soupçonné.

Galvani répéta cette expérience dans son laboratoire. Il plaça sur un plateau de fer une grenouille nouvellement préparée, et passa un petit crochet de cuivre à travers la masse des muscles lombaires et des faisceaux nerveux de la moelle épinière. A chaque contact du cuivre et du fer, les contractions se produisaient.

Il varia l'expérience en prenant un arc double *c c'* (fig. 253) composé de cuivre et de fer. En touchant, avec cet arc, com-

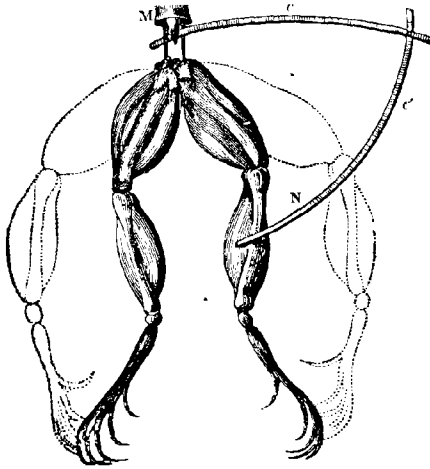


Fig. 253. Expérience de la patte de grenouille se contractant par le contact d'un arc composé de deux métaux.

posé de deux métaux, les muscles, M, de la grenouille et le nerf, N, il provoquait des contractions violentes dans le membre amputé.

Galvani crut pouvoir poser en principe que le muscle d'un animal est une *bouteille de Leyde organique*, que le nerf joue le rôle d'un simple conducteur, et que l'électricité positive circule de l'intérieur du muscle au nerf et du nerf au muscle, quand on fait communiquer ces deux

parties au moyen d'un arc métallique. Des observateurs contemporains ont reconnu l'existence d'un courant propre dans les animaux, et le courant d'électricité indiqué par Galvani dans les muscles et les nerfs des animaux a été ainsi pleinement confirmé.

Presque tous les physiologistes et un grand nombre de physiciens adoptèrent les idées de Galvani; mais elles trouvèrent un adversaire redoutable dans un physicien d'Italie, déjà connu dans la science, et qui allait promptement devenir célèbre : nous voulons parler d'Alexandre Volta.

Prenant le contre-pied de la théorie de Galvani, Volta plaça dans les métaux l'origine de l'électricité que Galvani plaçait dans le corps de l'animal. « Quand l'arc métallique qui unit les muscles lombaires aux nerfs cruraux est formé de

deux métaux, disait Volta, c'est le contact de ces deux métaux qui dégage de l'électricité, et celle-ci, passant dans les organes de la grenouille, y provoque des contractions. Quand l'arc exciteur est formé d'un seul métal, les contractions sont faibles, et alors c'est la différente nature des humeurs qui mouillent les muscles et les nerfs qui engendre de l'électricité, laquelle provoque les contractions. »

Galvani défendit pendant six ans sa théorie contre les ob-



Fig. 254. Alexandre Volta.

jections incessantes de Volta. Il y avait alors deux camps opposés dans la science européenne : les *galvanistes* et les *voltaïstes*.

Un savant italien, Fabroni, qui n'appartenait ni à l'un ni à l'autre des deux camps, attribua tous les effets observés à une action chimique exercée par les liquides du corps de l'animal sur le métal qui forme l'arc exciteur. Mais sa théorie passa inaperçue dans le choc des deux partis.

Cette division et la lutte des deux doctrines continuèrent,

parmi les physiciens de l'Europe, jusqu'en 1799. A cette époque, Volta foudroya, pour ainsi dire, ses adversaires, par la découverte de l'appareil qui porte son nom.

Volta avait remarqué que deux disques de zinc et d'argent isolés par une tige de verre, mis en contact, puis séparés, se chargeaient d'une quantité d'électricité faible, mais appréciable. C'est en rassemblant plusieurs couples de ces disques métalliques que Volta construisit l'admirable instrument qui reçut le nom de *pile électrique*.

Volta écrivait la lettre suivante au président de la *Société royale* de Londres, le 20 mars 1800 :

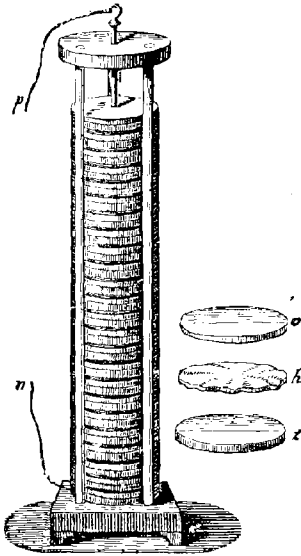


Fig. 255. Pile à colonne construite par Volta en 1800.

« L'appareil dont je vous parle n'est qu'un assemblage de bons conducteurs de différentes espèces, arrangés d'une certaine manière. Vingt, quarante, soixante pièces de cuivre, ou mieux d'argent, appliquées chacune à une pièce d'étain ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc, et un nombre égal de couches d'eau, ou d'eau salée, de lessive, etc., ou des morceaux de carton bien imbibés de ces humeurs : de telles couches interposées à chaque couple ou combinaison des deux métaux différents, et toujours dans le même ordre de ces trois espèces de conducteurs, voilà tout ce qui constitue mon nouvel instrument. »

La figure 255 représente l'appareil producteur du courant électrique, tel qu'il fut construit par Volta et employé par les physiciens dans

les premières années de notre siècle. On voit, à part, les disques de cuivre, de zinc et de drap mouillé, *c*, *z* et *h*, qui constituent un élément, ou un *couple*. L'assemblage de ces couples superposés en *pile* forme l'appareil qui reçut, pour cette raison, le nom de *pile de Volta*. L'électricité dégagée par la réunion de tous ces éléments s'accumule aux deux extrémités de l'appareil, lesquelles portent le nom de *pôles*. L'électricité positive se réunit au pôle zinc, terminé par le fil conducteur *p*; l'électricité négative au pôle cuivre, terminé par le fil conducteur *n*.

Nicholson et Carlisle, expérimentateurs anglais, ont les premiers montré, par une découverte des plus brillantes, le rôle important que la pile de Volta était appelée à jouer dans la chimie. Ces deux physiciens réalisèrent, le 2 mai 1800, l'expérience capitale qui servit de point de départ à toutes les applications chimiques de la pile : nous voulons parler de la décomposition de l'eau.

Ayant pris un tube de verre rempli d'eau et fermé par des bouchons de liège, Nicholson et Carlisle firent passer un fil de cuivre à travers chacun des bouchons. Après avoir placé le tube plein d'eau verticalement, le fil de cuivre inférieur fut mis en communication avec le disque d'argent qui formait la base (pôle) d'une petite pile à colonne, et le fil supérieur avec le disque de zinc du sommet. Alors ils approchèrent à une petite distance l'une de l'autre les deux extrémités des fils. « Aussitôt, dit Nicholson, une longue trainée de bulles excessivement fines s'éleva de la pointe du fil de cuivre inférieur, tandis que la pointe du fil de cuivre opposé devenait terne, puis jaune orangé, puis noire. »

L'eau avait été décomposée en ses deux éléments, à savoir : le gaz hydrogène, qui s'était dégagé en bulles au fil négatif, et l'oxygène, qui s'était porté sur le fil supérieur attaché au pôle positif et l'avait oxydé.

Nicholson substitua bientôt aux fils de cuivre des fils de platine ou d'or. Ces métaux n'étant pas oxydables, on put recueillir le gaz oxygène à l'état de liberté.

On démontre aujourd'hui la composition de l'eau au moyen de l'appareil de Nicholson légèrement modifié, que nous représenterons plus loin (page 335).

Les expériences de Nicholson furent reproduites partout, en Angleterre, en France et en Allemagne. A la même époque, William Cruikshank démontrait que le courant voltaïque qui décompose l'eau peut aussi décomposer les oxydes métalliques eux-mêmes, dans les sels dont ces composés font partie ; en sorte que quelquefois le métal se dépose en petits cristaux sur le pôle négatif.

Appliquée à la chimie, la pile devait enrichir cette science de faits nouveaux et perfectionner d'une manière inattendue ses procédés d'expérimentation. L'illustre chimiste anglais, Humphry Davy, fit un faisceau de tous les faits ob-

servés jusque-là sur l'action chimique de la pile, et par ses travaux et son génie il donna à cette suite de faits l'unité qui leur manquait.

Davy montra que sous l'influence de la pile tous les corps composés peuvent se séparer en leurs éléments. Il découvrit la véritable nature des alcalis et des terres, c'est-à-dire de la chaux, de la potasse et de la soude. Il sépara ces divers corps en deux éléments : un métal et de l'oxygène.

A l'aide d'un appareil très puissant, c'est-à-dire composé de six cents couples voltaïques, qu'il devait à une souscription nationale, Davy reconnut que si l'on termine les deux fils conducteurs de la pile par deux pointes de charbon, et que l'on approche ces charbons à une petite distance l'un de l'autre, on voit jaillir entre eux une étincelle resplendissante d'éclat. En éloignant peu à peu les charbons l'un de l'autre, le jet de lumière formait un arc lumineux de trois à quatre pouces de longueur, dont l'éclat était comparable à celui de la lumière solaire.

Ce phénomène lumineux est purement physique ; l'oxygène de l'air n'y a point de part, car l'expérience réussit aussi bien dans le vide que dans l'air. Ces remarquables effets sont le résultat de la chaleur développée par le courant de la pile.

De nos jours, cet arc lumineux a été appliqué à l'éclairage, comme nous le verrons dans le chapitre spécial de l'éclairage.

Avec la pile à colonne due à Volta, il était impossible d'obtenir des effets proportionnés au nombre des couples, car la pression des disques supérieurs sur les rondelles de drap de la partie inférieure de la colonne en faisait écouler l'acide. Les physiciens songèrent donc à modifier l'instrument de Volta. En 1802, Cruikshank fit très heureusement cette modification en rendant cette pile horizontale. Il remplaça les couples circulaires par des plaques rectangulaires de cuivre et de zinc placées en contact l'une avec l'autre, scellées au fond d'une boîte, de manière à former de petites auges, dans lesquelles on plaça le liquide. Ce fut la pile dite à auges, que représente la figure 256.

Au moyen du courant fourni par la pile à auges, on put brûler des fils de fer et de platine, des tiges de plomb, d'argent, etc., produire enfin divers effets physiques et chimiques très intenses.

On vient de voir que la pile à colonne employée par Volta

fut bientôt remplacée par la *pile à auges*, construite en 1802, par Cruikshank. Cette forme de la pile demeura pendant très longtemps en usage dans les laboratoires, et c'est avec la pile à auges qu'ont été accomplies les découvertes les plus remar-

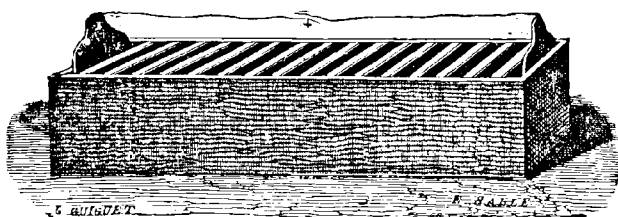


Fig. 256. Pile à auges.

quables qui aient signalé la branche importante de la science qui nous occupe. Mais cette forme présentait divers inconvénients. La pile à auges fut d'abord remplacée par la *pile de Wollaston*, qui rendit de grands services dans certains cas déterminés.

En 1836 et 1839, les physiciens anglais Daniell et Grove firent subir à l'instrument producteur de l'électricité de nouvelles et profondes modifications. Nous ne décrirons pas ici les appareils construits par ces savants. Nous parlerons seulement de la *pile de Bunsen*, qui est un perfectionnement de la pile de Daniell et de Grove, et qui est aujourd'hui presque exclusivement employée dans les ateliers pour la dorure, l'argenture ou le cuivrage des métaux, et dans les laboratoires de physique.

Composition de la pile de Bunsen. — Chaque élément de la

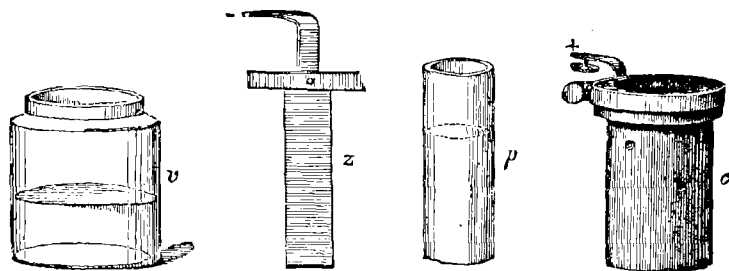


Fig. 257. Composition d'un élément de la pile de Bunsen.

pile de Bunsen se compose de quatre pièces, qui rentrent les unes dans les autres. Ces pièces sont (fig. 257) : 1° un vase de

faïence ou de verre *v*, contenant de l'eau étendue de dix fois son poids d'acide sulfurique ; 2° une lame de zinc *z*, munie d'une tige de cuivre, qui doit servir de conducteur pour le fluide négatif ; 3° un vase de terre perméable *p*, qui peut se laisser traverser par les gaz, et contient de l'acide azotique ; 4° un cylindre de charbon *c*, muni en haut d'un anneau de cuivre, sur lequel est soudée une tige de cuivre, qui est le conducteur du fluide positif.

Ces pièces sont placées les unes dans les autres, comme le

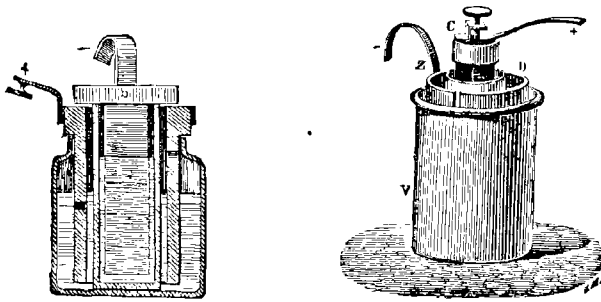


Fig. 258. Élément d'une pile de Bunsen monté.

montre la figure 258, qui représente d'une part la coupe d'un élément de la pile de Bunsen, et d'autre part l'élément monté prêt à agir.

Dès que le zinc et le charbon communiquent par un conducteur, la pile devient active ; et si l'on réunit entre eux un certain nombre de ces éléments, on obtient la *pile de Bunsen*.

La pile de Bunsen se compose donc de la réunion d'un certain nombre d'éléments qu'on fait communiquer l'un avec l'autre en mettant en rapport la lame métallique fixée au cylindre de zinc avec la lame de cuivre du cylindre de charbon.

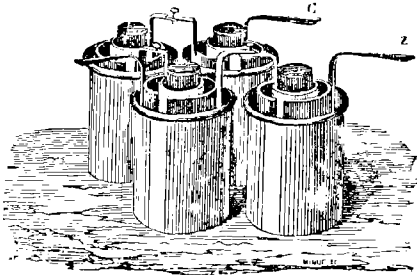


Fig. 259. Pile de Bunsen.

La figure 259 représente une pile de Bunsen formée de quatre éléments, ou couples. Le pôle positif de cette pile se trouve au dernier cylin-

dre de charbon, C, et le pôle négatif au dernier cylindre de zinc, Z.

La figure 260 montre une *batterie* prête à produire différents effets.

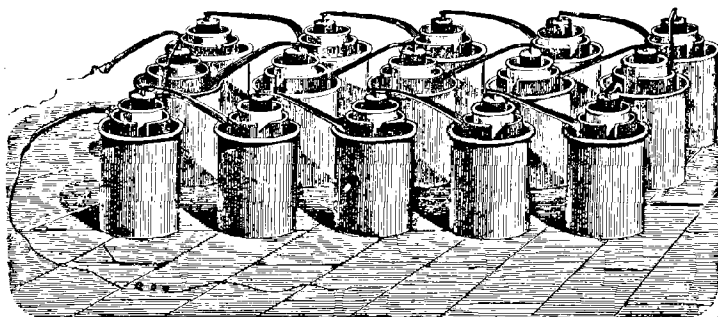


Fig. 260. Batterie de couples d'une pile de Bunsen.

Théorie de la pile de Volta. — Donnons maintenant quelques idées générales sur la théorie scientifique qui sert à expliquer les effets de la pile voltaïque.

L'idée théorique du développement de l'électricité par le simple contact de deux corps de nature différente, c'est-à-dire la théorie de Volta, est aujourd'hui abandonnée. On admet que le développement de l'électricité par la pile est le résultat de l'action chimique qui s'exerce entre les acides et les métaux de la pile. On explique très bien la production de l'électricité dans la pile par la seule considération des actions chimiques, c'est-à-dire par ce fait, incontestable, que l'électricité prend naissance toutes les fois que s'accomplit une réaction chimique quelconque. •

Voici comment on explique le dégagement de l'électricité dans la pile de Bunsen.

Quand l'instrument est mis en action, c'est-à-dire quand on charge les couples en plaçant l'acide sulfurique dans le vase extérieur, l'acide azotique dans le vase intérieur, et dès que les fils conducteurs sont mis en contact de manière à donner l'écoulement au courant électrique qui va se produire, voici la réaction chimique qui se passe, et qui a pour résultat de produire une masse considérable d'électricité qui prend alors la forme de courant.

L'acide sulfurique étendu d'eau, qui remplit le vase extérieur V

(fig. 261), attaque la lame de zinc Z, qui plonge dans ce liquide. Sous l'influence de l'acide sulfurique, l'eau est décomposée en ses éléments, à savoir l'hydrogène et l'oxygène : l'oxygène, se portant sur le zinc, forme de l'oxyde de zinc, lequel, se combinant

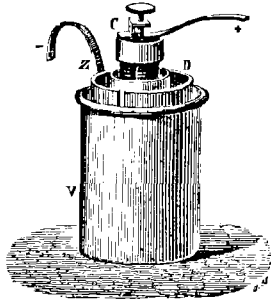


Fig. 261. Un élément de la pile de Bunsen.

avec l'acide sulfurique, produit du sulfate de zinc, sel soluble dans l'eau et qui demeure dissous dans l'eau du vase V.

Cette première réaction, c'est-à-dire la décomposition de l'eau, produit un grand dégagement d'électricité, puisque toute réaction chimique s'accompagne nécessairement d'un dégagement d'électricité. Mais il y a, dans l'appareil que nous considérons, une seconde source d'électricité, qui vient s'ajouter à la première. Le gaz hydrogène provenant de la décomposition de l'eau par le zinc ne se dégage pas purement et simplement à l'extérieur. Le vase intérieur D, qui est fait en porcelaine non vernie, est perméable aux gaz ; il peut donner passage, à travers la porosité de sa substance, au gaz hydrogène qui s'est formé dans le vase extérieur V. Le gaz hydrogène passe donc à travers le vase D, et parvenu à l'intérieur de ce vase, il se trouve en contact avec l'acide azotique qui le remplit. Il s'établit alors une action chimique entre le gaz hydrogène et l'acide azotique : l'hydrogène, se combinant à une partie de l'oxygène de l'acide azotique, forme de l'eau et ramène l'acide azotique à l'état d'acide hypo-azotique ou de bioxyde d'azote. Cette nouvelle action chimique entre l'hydrogène et l'acide azotique a pour résultat nécessaire de produire un nouveau développe-

ment d'électricité qui prend la forme de courant, et s'ajoute à l'électricité déjà produite par la première réaction qui s'est exercée entre l'acide sulfurique et le zinc dans le compartiment extérieur. Les deux courants électriques provenant de cette réaction ne s'annulent pas réciproquement, mais ajoutent leurs effets, parce qu'ils marchent dans le même sens, c'est-à-dire vont du vase intérieur au vase extérieur, à travers le liquide et la cloison poreuse de porcelaine. Le bloc de charbon C, substance inattaquable par l'acide azotique et très conductrice de l'électricité, reçoit l'électricité positive, qui s'é-

coule par le fil métallique fixé sur cet élément ; le zinc Z reçoit l'électricité négative, et lui donne l'écoulement par le fil métallique soudé à la lame de zinc et qui représente le pôle négatif.

Quand on réunit entre eux, au moyen d'un fil métallique conducteur, le pôle négatif et le pôle positif de l'instrument, la pile entre en action, et il se forme un courant électrique continu, parce que les deux électricités positive et négative, qui viennent se neutraliser et se détruire mutuellement au point de jonction des deux conducteurs interpolaires, se reforment sans cesse et constituent ainsi ce que l'on nomme *un courant électrique*.

Effets de la pile de Volta. — L'instrument découvert par Volta est un des plus merveilleux qui soient sortis des mains des hommes, en raison de la diversité et du nombre des effets auxquels il donne naissance. On peut les diviser en trois catégories : 1° *effets physiques*, 2° *effets chimiques*, 3° *effets physiologiques*.

Si l'on réunit les deux pôles d'une pile en activité par un fil de métal de faibles dimensions, ce fil s'échauffe, rougit, fond et disparaît. Aucune matière ne résiste à la puissante action calorifique de la pile de Volta : les métaux les plus réfractaires entrent en fusion et même se volatilisent quand on les place, sous la forme de fils fins, entre les deux pôles.

Cet instrument, qui est une source de chaleur, est aussi une source de lumière. Si l'on termine les deux conducteurs d'une pile puissante par deux pointes de charbon, et qu'on les tienne éloignés seulement de quelques centimètres, on obtient une lumière d'un éclat prodigieux. La figure 262 montre la disposition de l'expérience.

Comme nous le verrons dans un autre chapitre, la pile peut également devenir un instrument mécanique, c'est-à-dire servir à transformer des barres d'acier en puissants aimants qui attirent des masses de fer d'un poids considérable, et produisent ainsi un véritable effet mécanique.

Production de chaleur et de lumière, force mécanique, tels sont donc les effets physiques principaux de cet instrument.

La pile de Volta est encore un agent extrêmement puissant de décompositions chimiques. Plongez dans la dissolution d'un sel, dans une dissolution de sulfate de soude, par exemple, les deux pôles d'une pile en activité, et vous verrez les deux éléments du sel se séparer, sous l'influence décomposante de l'électricité : l'acide sulfurique libre apparaîtra au pôle positif, et la soude, c'est-à-dire la base du sel, se portera au pôle négatif. Souvent même, la base de ce sel sera décomposée à son tour : elle se réduira en ses deux éléments, oxygène et métal. Faites plonger dans une dissolution de sulfate

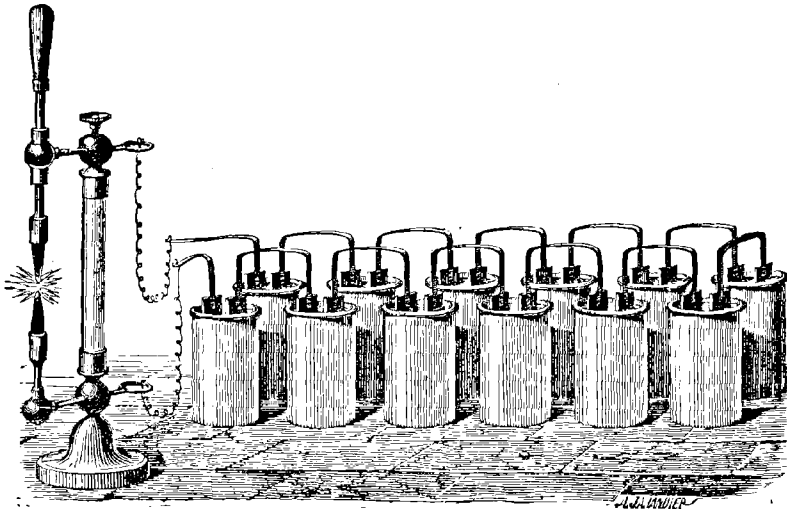


Fig. 262. Arc voltaïque.

de cuivre les deux pôles d'une pile en activité, l'acide sulfurique sera mis en liberté et se portera au pôle positif, et l'oxyde de cuivre qui s'est porté au pôle négatif sera décomposé lui-même en ses deux éléments : cuivre et oxygène. L'oxygène se dégagera à l'état de gaz au pôle positif avec l'acide sulfurique et le métal, le cuivre se déposera au pôle négatif. C'est sur ce fait, comme nous le verrons plus loin, que reposent les opérations de la *galvanoplastie*.

L'action décomposante de la pile est mise en parfaite évidence par l'expérience classique qui consiste à montrer la décomposition de l'eau par un courant électrique.

On prend un verre (fig. 263) contenant de l'eau, et dont le fond renferme une masse de cire traversée par deux fils de platine *ff*. L'extrémité de ces fils s'engage dans deux éprouvettes de verre, A, B, pleines d'eau; on les met en rapport avec les pôles d'une pile. L'eau se décompose, et l'on recueille dans une des éprouvettes (B) un volume de gaz hydrogène double du volume de l'oxygène obtenu dans l'autre éprouvette (A).

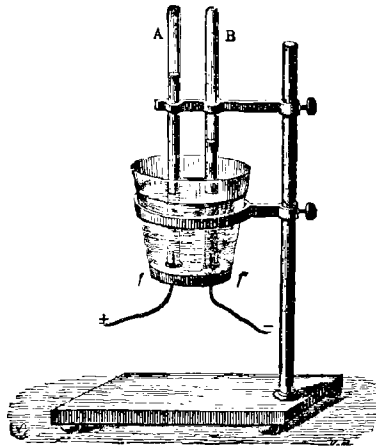


Fig. 263. Décomposition de l'eau par le courant électrique.

La pile est donc, au point de vue de ses effets chimiques, un agent très énergique de décomposition, puisqu'aucune substance composée ne peut résister à son action.

Quant à ses effets physiologiques, ils consistent dans les commotions que le courant de la pile fait éprouver aux divers organes des animaux.

En 1793, Larrey, Dupuytren, Richerand et autres chirurgiens, excitèrent des contractions musculaires sur des membres nouvellement amputés, avec des armatures composées de deux métaux superposés. Aldini, neveu de Galvani, poursuivit les mêmes expériences. Avec une pile à colonne d'une centaine de couples, il provoqua dans le corps de chevaux, de bœufs et de veaux, récemment abattus, des mouvements vitaux d'une énergie surprenante. Bichat essaya, le premier, de galvaniser le corps des suppliciés. Vassali-Endi, Giulio Rossi, physicien piémontais, Nysten et Guillotin, médecins français, enfin Aldini, se livrèrent à de nombreuses expériences du même genre. Aldini conclut de ses expériences que le galvanisme pourrait être efficace pour rappeler à la vie des noyés et des asphyxiés.

Pour donner une idée des étranges effets produits par l'électricité sur des cadavres humains, nous citerons l'expérience que le docteur Andrew Ure fit à Glasgow, en 1818, sur le

corps de l'assassin Clysdale. Cet homme avait vendu son cadavre au docteur Ure, qui voulait le soumettre aux épreuves de la pile voltaïque. C'était un individu de trente ans, très vigoureux. Après l'exécution, il resta près d'une heure suspendu au gibet, et il fut apporté à l'amphithéâtre de l'Université dix minutes après qu'on l'eut détaché de la potence. Un des pôles de la pile fut mis en communication avec la moelle épinière, à la hauteur de la vertèbre *atlas*, l'autre pôle étant en contact avec le nerf sciatique. Un frisson sembla tout aussitôt parcourir le cadavre. En disposant convenablement les conducteurs sur les muscles pectoraux, on rétablit les mouvements respiratoires : la poitrine s'élevait et s'abaissait. Le poing du supplicié s'ouvrit en dépit des efforts des opérateurs, et son doigt semblait désigner les personnes qui l'entouraient. Les muscles de la face s'agitèrent horriblement et de manière à jeter l'épouvante parmi les assistants. Plus d'un spectateur de cette étrange expérience s'enfuit, frappé de terreur. La face du supplicié exprimait tour à tour la rage, le désespoir ou l'angoisse.

Le docteur Ure a écrit qu'on aurait pu ramener ce pendu à la vie, si on eût commencé par rétablir chez lui les mouvements respiratoires, si l'on n'avait pas blessé la moelle épinière, pour y enfoncer l'un des pôles de la pile.

Chaleur, lumière, force mécanique, décompositions chimiques, action puissante sur les organes des êtres vivants, tels sont donc les effets que produit la pile de Volta, et qui en font un instrument véritablement universel par la variété de ses attributs.

En 1820, OErsted, physicien danois, découvrit un fait remarquable, qui devint la source d'une nouvelle branche de la physique, l'*électro-magnétisme*. En réunissant par un fil métallique les deux pôles d'une pile et approchant ce fil d'une aiguille aimantée, comme le montre la figure 264, OErsted reconnut que l'aiguille était écartée de sa direction primitive. L'électricité en mouvement agissait donc sur les corps magnétiques. La science allait, dès lors, marcher rapidement à des conquêtes nouvelles, car l'électro-magnétisme devint l'origine de la découverte d'une foule de faits qui ont considérablement étendu le cercle de nos connaissances sur l'électricité,

et qui ont reçu de nos jours des applications aussi précieuses que variées.

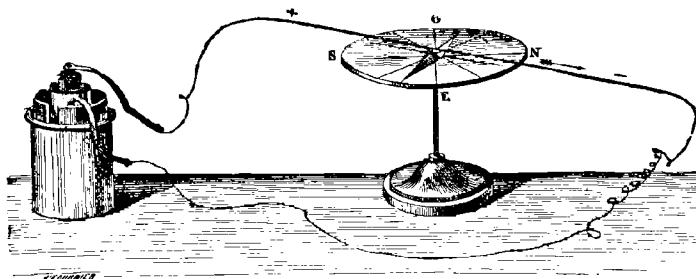


Fig. 264. Action du courant électrique sur l'aiguille aimantée.

Nous aurons occasion d'étudier, dans la suite de cet ouvrage, les applications les plus importantes qui ont été faites de nos jours de l'électro-magnétisme, en parlant de la *télégraphie électrique*, de la *galvanoplastie*, de la *dorure électrique* et de l'*éclairage électrique*.



XXI

LE PARATONNERRE

Opinion des anciens sur la nature de la foudre. — Étude scientifique du phénomène de la foudre entreprise dans les temps modernes. — Opinion de Descartes et de Boerhaave sur la cause du tonnerre. — Découverte de l'analogie de la foudre et de l'électricité. — Franklin établit l'analogie probable de la foudre et de l'électricité. — Effet produit sur les savants de l'Europe par les idées de Franklin. — Démonstration de la présence de l'électricité dans l'atmosphère. — Expérience de Marly. — Mort du physicien Richmann, à Saint-Petersbourg. — Les cerfs-volants électriques. — Le cerf-volant électrique de Romas, de Nérac. — Le cerf-volant électrique de Franklin, aux États-Unis. — Le premier paratonnerre. — Accueil fait en Europe à l'invention du paratonnerre. — Principes et règles pour la construction d'un paratonnerre. — La tige, le conducteur. — Manière de faire perdre dans le sol l'électricité soustraite par le paratonnerre.

Après avoir exposé les principes généraux de l'électricité, nous ferons connaître les inventions les plus importantes qui ont pris naissance par l'application de ces principes.

Nous parlerons d'abord du *paratonnerre*, l'une des plus remarquables inventions qui aient été réalisées dans les temps modernes.

Dès l'origine des sociétés, chez les peuples de l'Asie, plus tard même en Europe, malgré la civilisation avancée des nations de la Grèce et de l'empire romain, le tonnerre fut considéré comme une arme vengeresse aux mains de la Divinité. La pensée d'attribuer à la foudre une origine divine, d'en faire une sorte de manifestation de la colère céleste, s'est maintenue chez les différents peuples du monde depuis l'antiquité, et de nos jours même il est encore difficile d'extirper

ce préjugé des croyances du vulgaire. Cependant la science a parfaitement établi la véritable nature du tonnerre. Elle a démontré que les éclairs, le tonnerre et la foudre, ne sont dus qu'à la décharge, opérée au sein des airs, de plusieurs nuages inversement électrisés.

En découvrant la véritable origine de ce grand phénomène naturel, le génie de l'homme a rendu à la Divinité un hommage plus digne et plus sincère que ne le faisaient ceux qui entretenaient dans l'esprit des peuples, au sujet de ce météore, des craintes superstitieuses et erronées.

Pour soumettre à une étude fructueuse le phénomène de la foudre et des orages, il fallait nécessairement posséder des notions scientifiques exactes. Ce n'est donc qu'après le seizième siècle, c'est-à-dire à l'époque de la création des sciences d'observation, que des recherches sérieuses furent entreprises pour expliquer ce météore. Quand les lumières de la science eurent dissipé les ténèbres de la superstition des anciens âges, on osa soumettre à un examen réfléchi le grand phénomène qui n'avait été jusque-là pour les hommes qu'un sujet d'épouvante ou de fausses notions, et on ne tarda pas à en dévoiler la véritable nature.

Descartes, ce philosophe immortel qui a tant contribué à la création des sciences modernes, fut le premier qui essaya de découvrir la cause du tonnerre. Il attribuait ce phénomène à la chaleur qui serait résultée de la chute d'un nuage tombant sur un autre nuage placé plus bas. Boerhaave, l'illustre médecin de Leyde, qui jouissait en Europe d'une renommée sans égale, proposa ensuite, pour expliquer la formation du tonnerre, une théorie plus rigoureuse que celle de Descartes, et qui fut professée en Europe jusqu'au milieu du dix-huitième siècle.

Boerhaave rapportait la cause du tonnerre à l'inflammation, qui se produisait au sein de l'air, des différents gaz ou vapeurs émanés de la surface de la terre.

Tout inexacte qu'elle était, cette théorie obtint une faveur universelle, et elle entrava pendant longtemps la marche de la science vers l'explication rationnelle du phénomène qui nous occupe.

On a vu, de tout temps, à l'approche des orages, des flammes, des aigrettes ou des scintillations, briller au-dessus des mâts des vaisseaux, des clochers des églises, des piques ou

des épées des soldats. On appelle *feu Saint-Elme* les aigrettes lumineuses que l'on aperçoit souvent, en temps d'orage, brillant à la pointe des mâts des vaisseaux.

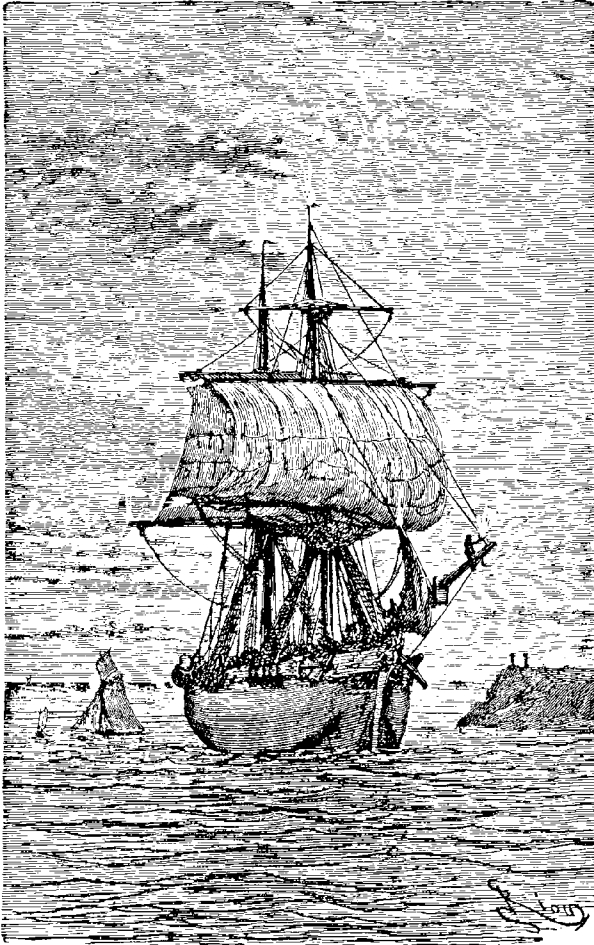


Fig. 265. Feu Saint-Elme.

Les phénomènes lumineux qui se passaient au sein des airs, n'excitèrent longtemps qu'une curiosité stérile. L'analogie de la foudre et de l'étincelle électrique ne pouvait être saisie avant la connaissance exacte des phénomènes de l'électricité. Mais dès les premiers temps où l'attention des physiciens se

porta vers l'électricité, cette analogie fut nettement aperçue.

A cette époque, le docteur Wall, physicien anglais, exprima l'idée de la ressemblance de l'étincelle électrique avec l'éclair, et de la singulière analogie du craquement de cette étincelle avec le bruit du tonnerre.

En 1735, le physicien Grey exposait plus formellement la même analogie.

En France, l'abbé Nollet pensa qu'on pourrait, « en prenant l'électricité pour modèle, se former, touchant le tonnerre et les éclairs, des idées plus saines et plus vraisemblables que tout ce qu'on avait imaginé jusqu'alors. »

En 1750, l'Académie de Bordeaux couronna un mémoire de Barberet, médecin de Dijon, qui admettait l'analogie de la foudre avec l'électricité, mais sans invoquer aucune expérience de physique, et en se maintenant dans les termes d'une simple dissertation académique.

Quelques jours à peine après la publication du mémoire de Barberet qui venait d'être couronné par l'Académie de Bordeaux, un savant appartenant à la province de Guyenne présentait à la même académie un mémoire dans lequel il assurait, d'après les effets produits par la chute de la foudre sur un château situé près de Nérac, « que la foudre était analogue avec l'électricité. » Cet observateur était de Romas, sur les travaux duquel nous aurons à revenir.

Nous avons vu que Benjamin Franklin avait eu le mérite d'analyser et d'expliquer les effets de la bouteille de Leyde. Il rendit aux sciences un service tout aussi signalé en faisant ressortir l'extrême analogie que la foudre présente avec l'étincelle électrique, et en développant cette pensée avec beaucoup plus de force que ne l'avaient fait ses prédécesseurs.

Franklin n'était pas un physicien de profession, c'était un grand citoyen et un sage. En appliquant son bon sens naturel et l'attention d'un esprit libre et indépendant à l'étude des phénomènes de la nature, il accomplit des découvertes qui immortaliseront son nom comme savant, pendant qu'il exécutait, dans l'ordre moral et politique, des travaux d'une incontestable valeur.

Fils d'un pauvre fabricant de savon, Benjamin Franklin fut successivement apprenti dans une fabrique de chandelles, ouvrier imprimeur, chef d'une imprimerie à Philadelphie,

député, enfin président de l'assemblée des États de Pensylvanie. Il eut une grande part à la déclaration de l'indépendance des États-Unis ; et quand il vint en France, pour y solliciter des secours en faveur de son pays insurgé contre la domination de l'Angleterre, il y fut reçu avec un enthousiasme indicible.

Benjamin Franklin mourut en 1790, après avoir contribué au perfectionnement moral de ses concitoyens par une foule d'écrits populaires ; mais sa vie fut encore son plus bel enseignement.

C'est entre les mains de ce grand homme que la doctrine



Fig. 266. Benjamin Franklin.

de l'identité de la foudre et de l'électricité fit le plus de progrès. En même temps que Barberet et de Romas publiaient leurs travaux, Franklin exposait comme il suit, dans ses *Lettres sur l'électricité*, les motifs qui justifiaient l'hypothèse, selon lui fort admissible, qui rapporte à l'électricité la cause du tonnerre :

« Les éclairs sont ondoyants et crochus comme l'étincelle électrique ;

Le tonnerre frappe de préférence les objets élevés et pointus ; de même, tous les corps pointus sont plus accessibles à l'électricité que les corps en forme arrondie ;

Le tonnerre suit toujours le meilleur conducteur et le plus à sa portée ; l'électricité en fait autant dans la décharge de la bouteille de Leyde ;

Le tonnerre met le feu aux matières combustibles, fond les métaux, déchire certains corps, tue les animaux ; ainsi fait encore l'électricité. »

Franklin alla plus loin. Il mit en avant cette *hypothèse*, qu'une verge de fer pointue élevée dans les airs, communiquant avec un conducteur métallique, en contact lui-même avec le sol, pourrait peut-être enlever l'électricité aux nuages orageux, et prévenir ainsi l'explosion de la foudre.

Remarquons cependant que Franklin ne parlait du paratonnerre que comme d'une expérience à réaliser. Ce moyen était subordonné à la réalité de cette supposition que la foudre était un phénomène électrique, car Franklin n'avait fait encore aucune expérience propre à déterminer l'existence de l'électricité dans l'air. Il avait seulement bien constaté la propriété remarquable dont jouit un conducteur terminé en pointe, d'anéantir l'état électrique d'un corps placé à peu de distance.

Les idées que nous venons de faire connaître, c'est-à-dire l'hypothèse de la nature électrique de la foudre, et l'expérience proposée par Franklin consistant à annuler les effets d'un nuage orageux par un conducteur métallique dressé verticalement en l'air, furent exposées par ce physicien dans un petit ouvrage ayant pour titre : *Lettres sur l'électricité*, qui parut à Londres en 1751. Présenté à la *Société royale des sciences* de Londres, ce livre fut très mal accueilli par la docte assemblée, qui trouva souverainement absurde le projet de détourner la foudre avec quelques minces barres métalliques élevées en l'air.

Cependant, malgré l'opinion défavorable de ce corps savant, les *Lettres* de Franklin obtinrent un grand succès en Angleterre, et bientôt dans toute l'Europe. La France surtout les accueillit avec enthousiasme. Notre grand naturaliste Buffon chargea un de ses amis, Dalibard, de traduire cet ouvrage de Franklin, et il prit soin d'en revoir la traduction. Il voulut, en outre, exécuter lui-même l'expérience proposée par Benjamin Franklin.



Fig. 267. Buffon.

Dans le but de vérifier la justesse des idées de Franklin et de mettre à exécution l'expérience proposée, Buffon fit placer sur la tour de son château de Montbard une longue barre de fer pointue à son sommet et isolée, à sa base, par de la résine. En même temps, sur le conseil de Buffon, un physicien de Paris, Dalibard, disposait un appareil tout semblable dans le jardin de sa maison de campagne, située à Marly, près de Paris.

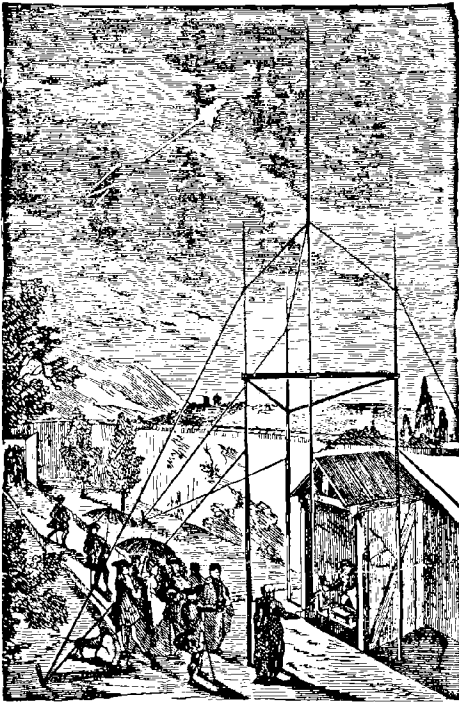


Fig. 268. Expérience de Marly, faite pendant un orage, sur une barre de fer isolée.

Le 10 mai 1752, un orage éclata sur Marly. Dalibard se trouvait en ce moment à Paris; mais il avait laissé, pour le remplacer, le cas échéant, un homme intelligent, Coiffier, à qui il avait donné ses instructions. Coiffier rapprocha de la barre une petite tige de verre emmanchée dans une bouteille de verre, afin d'isoler le métal et de préserver l'opérateur; il en vit partir deux étincelles. Il appela aussitôt ses voisins et fit venir le curé de Marly, qui accourut malgré

une pluie battante. Les étincelles excitées de la barre isolée ressemblaient à de petites aigrettes bleues, et produisaient un bruit pareil à celui qu'auraient fait entendre des coups de clef sur la barre.

Quelques jours après, Dalibard lut sur ce sujet, à l'Académie des sciences de Paris, un mémoire, qui fut reçu par les savants avec de véritables transports de joie.

- Le 19 mai 1752, Buffon put, à son tour, tirer de la barre de fer

élevée sur son château un grand nombre d'étincelles électriques.

Ces expériences se multiplièrent bientôt à Paris. En les répétant, Lemonnier découvrit la présence de l'électricité dans une atmosphère sereine, fait important et nouveau, car on avait toujours cru jusque-là que la présence d'un nuage orageux était nécessaire à la production de l'électricité atmosphérique.

A Nérac, de Romas, variant ses moyens d'expérimentation, reconnut qu'une barre plus élevée qu'une autre donnait de plus fortes étincelles. Il songea dès lors « à porter ses conducteurs le plus haut possible dans la région des nuages, afin d'augmenter le feu du ciel. » Nous verrons bientôt comment il y réussit.

Les expériences que nous venons de rapporter n'étaient pas sans danger. C'est ce que prouva bientôt la triste fin du professeur Richmann, membre de l'Académie impériale des sciences de Saint-Petersbourg, qui périt frappé du tonnerre, en répétant l'expérience précédemment exécutée par plusieurs autres physiciens.

Richmann avait élevé sur le haut de sa maison un conducteur métallique, qui aboutissait dans l'intérieur de son cabinet, en passant à travers le toit. Ce conducteur avait été isolé avec le plus grand soin ; de sorte que l'électricité atmosphérique, soutirée par la pointe de la barre et accumulée dans le conducteur, ne trouvait aucune issue pour s'échapper dans le sol.

Le 6 août 1753, au milieu d'un violent orage qui grondait sur Saint-Petersbourg, Richmann, un électromètre à la main, se disposait à mesurer, au moyen de cet instrument, l'intensité du fluide électrique. Il se tenait à une certaine distance de la barre, pour éviter les fortes étincelles qui en partaient. Son graveur, Solokow, étant entré sur ces entrefaites, Richmann fit, par mégarde, quelques pas en avant ; et, comme il n'était plus qu'à un pied du conducteur, un globe de feu bleuâtre, gros comme le poing, vint le frapper au front, et l'étendit mort (fig. 269).

Les barres isolées qui servaient à aller puiser l'électricité au sein de l'air, ne permettaient de la recueillir qu'à une hauteur médiocre dans l'atmosphère. Pour recueillir de l'électricité dans des régions très élevées de l'air, deux physiciens imaginèrent alors, chacun de son côté, le *cert-volant élec-*

trique. Ces deux physiciens étaient : en Amérique, Franklin ; en Europe, de Romas (de Nérac).

Au mois d'août 1752, de Romas communiqua à ses amis, sous le sceau du secret, le projet qu'il avait conçu de lancer vers les nuages orageux un cerf-volant armé d'une pointe métallique. Il fit sa première expérience le 14 mai 1753. Mais elle ne réussit pas, parce que la corde attachée au cerf-volant, n'étant pas assez conductrice, n'avait pu amener le fluide jusqu'au sol. Pour remédier à ce défaut de conductibilité, de Romas enroula un fil de cuivre autour de la corde sur toute sa longueur, qui était de 260 mètres.

Le 7 juin 1753, par une journée orageuse, de Romas fit une expérience magnifique. Il attacha à la partie inférieure de la corde du cerf-volant, un cordonnet de soie. Ce cordonnet se rattachait à une pierre très lourde placée sous l'auvent d'une maison. A la corde, et en avant du cordonnet de soie, on suspendit un cylindre de fer-blanc, en communication avec le fil de cuivre, et propre à tirer des étincelles s'il y avait lieu : on se servait pour cela d'un tube de fer-blanc fixé à un tube de verre. On tira d'abord de faibles étincelles, et les personnes qui assistaient en grand nombre à cette expérience extraordinaire, jouaient, en riant, avec le dangereux météore. Mais bientôt l'orage devint plus violent, et de Romas s'empressa d'écartier les curieux. La longueur et l'éclat des étincelles allaient en augmentant sans cesse. Bientôt, l'intrépide expérimentateur excita les lames de feu qui partaient à plus d'un pied de distance, et dont on entendait le bruit à plus de deux cents pas. Un bruissement continu, comparable à celui d'un soufflet de forge, une forte odeur sulfureuse, émanée du conducteur, un cylindre lumineux de trois ou quatre pouces de diamètre enveloppant la corde du cerf-volant, tels étaient les phénomènes que de Romas observait avec un calme, une fermeté extraordinaires.

Il arriva un moment où il jugea prudent de ne plus tirer d'étincelles, et bientôt une violente explosion, qui était comme un petit coup de tonnerre, fut entendue jusque dans le milieu de la ville : c'était l'électricité des nuages accumulée sur le conducteur, qui se déchargeait sur le sol.

En 1757, le physicien de Nérac, poursuivant ses dangereuses expériences, tirait de la corde d'un cerf-volant des lames



Fig. 269. Mort du physicien Richmann, à Saint-Petersbourg, le 6 août 1753.

de feu de neuf à dix pieds de longueur, dont l'explosion ressemblait à un coup de pistolet.

De Romas faisait toutes ces expériences devant une foule stupéfaite de tant d'audace.

L'originalité des belles expériences que nous venons de rapporter, fut contestée, de son vivant, à leur auteur, et elle lui a été même contestée jusqu'à nos jours. On a dit que de Romas n'avait été que l'imitateur de Franklin, qui, au mois de septembre 1752, après avoir eu connaissance des expériences de Dalibard sur la barre isolée, avait lancé un cerf-volant dans les plaines de Philadelphie. C'est par des causes indépen-



Fig. 270. Expérience de Romas; cerf-volant lancé dans les nues pendant un orage, le 7 juin 1753.

dantes de sa volonté que le physicien de Nérac ne put exécuter qu'en 1753 cette expérience, conçue par lui et communiquée à ses amis, et même à l'Académie de Bordeaux, en juillet 1752. Il est aujourd'hui reconnu que de Romas n'a rien emprunté à Franklin et que l'originalité de sa belle expérience ne saurait lui être contestée.

C'est, en effet, au mois de septembre 1752 que Franklin avait fait dans la campagne, aux environs de Philadelphie, l'essai d'un cerf-volant électrique, et qu'il avait obtenu de véritables manifestations électriques avec la corde de chanvre de son cerf-volant. L'expérience du physicien de Philadelphie est antérieure en date à celle du physicien de Nérac,

mais elle fut bien inférieure à celle de notre compatriote sous le rapport de l'intensité et de l'éclat des phénomènes électriques observés (fig. 271). Et comme la nouvelle n'en était



Fig. 271. Le cerf-volant électrique de Franklin.

point parvenue à de Romas avant ses propres expériences, on doit reconnaître que le physicien français et l'expérimentateur américain ont fait, chacun de son côté, cette grande découverte.

Quoi qu'il en soit, toutes les expériences que nous venons de rapporter démontraient suffisamment la présence de l'élec-

tricité libre dans l'atmosphère, la véritable nature de la foudre, et la possibilité d'en prévenir les effets désastreux au moyen de la barre pointue dressée en l'air proposée par Franklin, c'est-à-dire au moyen du *paratonnerre*.

C'est en 1760 que Franklin fit construire le premier paratonnerre. Cet instrument fut élevé sur la maison d'un marchand de Philadelphie. C'était une baguette de fer, de neuf pieds et demi de long et de plus d'un demi-pouce de diamètre, qui allait en s'amincissant vers son extrémité supérieure. L'extrémité inférieure portait une seconde tige de fer, dont le bas communiquait avec un long conducteur de fer pénétrant dans le sol jusqu'à une profondeur de quatre ou cinq pieds.

A peine installé, ce paratonnerre fut frappé par le feu du ciel, qui ne causa aucun dommage à la maison défendue par le nouvel instrument dû au génie de Franklin.

L'Amérique avait accepté avec enthousiasme, et comme un bienfait public, l'invention du paratonnerre ; mais cette découverte rencontra en Europe une résistance sérieuse, qui se prolongea plusieurs années. En Angleterre, par haine contre Franklin, l'un des citoyens qui avaient le plus activement contribué à l'émancipation des États-Unis, on repoussait la découverte américaine, ou du moins on prétendait y apporter des modifications qui auraient annulé le mérite de l'inventeur. Le paratonnerre proposé par Franklin se terminait en pointe à son extrémité ; les physiiciens anglais décidèrent que les paratonnerres à tige pointue étaient dangereux, et qu'il fallait leur substituer des tiges terminées en boule, hérésie scientifique qui tomba sous le ridicule et déconsidéra les savants anglais, tristes flatteurs des rancunes d'un roi et d'un vain amour-propre national.

En France, les débuts du paratonnerre ne furent pas beaucoup plus heureux. L'abbé Nollet s'était déclaré l'adversaire de Franklin et de son invention ; et comme l'abbé Nollet était l'oracle du temps, en matière d'électricité, l'adoption du paratonnerre rencontra parmi nous de grandes difficultés. Jusqu'en 1782, la France repoussa l'introduction de cet appareil, considéré alors comme dangereux pour la sûreté publique.

C'est à Lyon et dans les provinces du midi de la France que les premiers paratonnerres furent établis. Leur efficacité ayant

été promptement reconnue, on en établit de semblables à Paris.

En Angleterre, l'usage des paratonnerres ne commença à se répandre qu'en 1788. A la même époque, le duché de Toscane et l'Autriche adoptèrent cet appareil. Bientôt toutes les nations d'Europe mirent à profit l'invention américaine, « de sorte, dit Franklin, que M. l'abbé Nollet vécut assez pour se voir le dernier de son parti. »



Un paratonnerre se compose d'une tige de fer pointue élevée dans l'air, et d'un conducteur du même métal, qui descend de l'extrémité inférieure de la tige, et aboutit dans une partie du sol occupée par une masse d'eau courante, en communication elle-même avec une rivière ou un fort ruisseau.

Voici les conditions auxquelles doit satisfaire un paratonnerre pour être utile et ne devenir jamais dangereux :

1° La pointe de la tige doit être suffisamment aiguë et cependant assez résistante pour n'être pas fondue par un coup de foudre ;

2° Le conducteur doit communiquer parfaitement avec le sol ;

3° Depuis la pointe jusqu'à l'extrémité inférieure du conducteur, il ne doit exister aucune solution de continuité.

Indiquons maintenant les dispositions qu'il faut donner à cet appareil, pour répondre aux conditions que nous venons d'énumérer.

La tige d'un bon paratonnerre a 9 mètres de longueur et se compose de trois pièces ajoutées bout à bout : une barre de fer de 8^m,60, une baguette de laiton de 60 centimètres, une aiguille de platine de 5 centimètres. Le platine est un métal

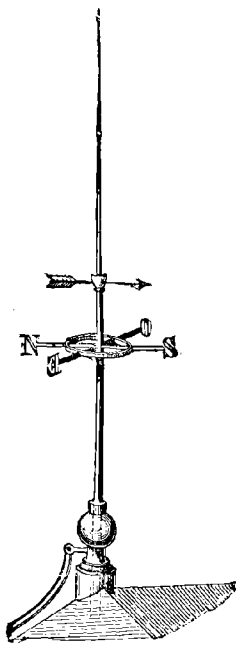


Fig. 272 Extrémité d'un paratonnerre.

qui ne s'oxyde pas à l'air; c'est pour cela qu'on l'a adopté pour faire la pointe de l'instrument, car les oxydes métalliques sont mauvais conducteurs de l'électricité. L'effet d'un paratonnerre terminé par une pointe de fer oxydée serait nul.

Le conducteur du paratonnerre est une longue barre de fer, à section carrée, de 15 à 20 millimètres de côté, résultant de la réunion bout à bout d'un nombre suffisant de barres. Toute solution de continuité doit être soigneusement évitée, car elle exposerait l'édifice à une décharge électrique.

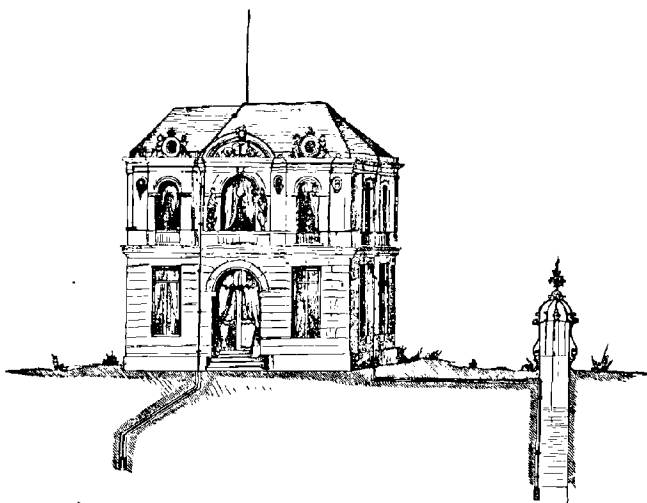


Fig. 273. Conducteur de paratonnerre dont la tige communique avec l'eau d'un puits.

On entoure chaque point de jonction des barres d'un bourrelet de soudure à l'étain, et les barres sont maintenues en place par des supports de fer.

Le conducteur ainsi fixé doit, comme nous l'avons dit, aboutir à un cours d'eau, soit dans un puits, comme le représente la figure 273, soit dans un courant d'eau souterrain, comme on le voit sur la figure 274.

De la base inférieure du mur de l'édifice jusqu'au cours d'eau, le conducteur passe dans un petit canal en brique, entièrement rempli de braise de boulanger, substance qui conduit très bien l'électricité, et qui facilite, par conséquent, l'écoulement rapide du fluide. De plus, elle défend le con-

ducteur du contact de l'air, qui l'oxyderait et nuirait considérablement à sa conductibilité.

Quelques personnes s'imaginent que si l'on recommande de faire aboutir dans un puits ou dans une eau courante l'extrémité terminale du conducteur d'un paratonnerre, c'est afin de conduire le *feu du ciel* dans l'eau, pour l'y éteindre. Il

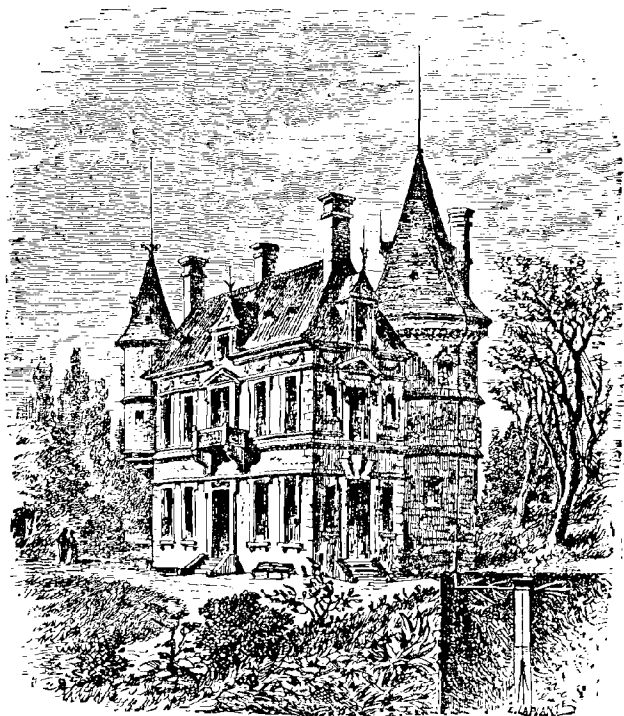


Fig. 274. Paratonnerre dont la tige communique avec une eau courante, au moyen d'une tranchée verticale, ou puits artificiel.

importe de se mettre en garde contre cette grossière explication. Le paratonnerre empêche l'effet désastreux de l'électricité accumulée dans les nuées orageuses par une action physique assez simple. Comme tous les corps électrisés, les nuées chargées d'électricité agissent à distance sur les objets terrestres ; selon la théorie généralement admise, elles tendent à décomposer le *fluide électrique naturel* de ces objets, à attirer l'électricité positive si elles sont électrisées négative-

ment, l'électricité négative si elles sont électrisées positivement. Or, les corps terminés en pointe donnent à l'électricité un écoulement infiniment plus prompt et plus facile que les corps terminés par des surfaces mousses ou arrondies. La tige pointue d'un paratonnerre, reliée d'ailleurs au sol par une série non interrompue d'excellents conducteurs métalliques, fournit à l'électricité de la terre un écoulement extrêmement

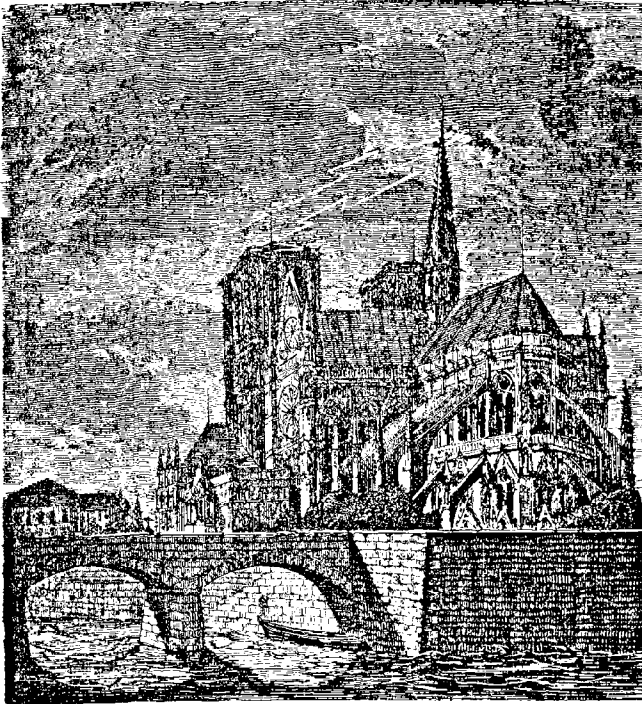


Fig. 275. Paratonnerre foudroyé.

facile. Il arrive dès lors que, par la pointe du paratonnerre, il s'écoule constamment une masse d'électricité contraire à celle du nuage, et qui provient du sol. Cette électricité vient neutraliser l'électricité contraire dont le nuage est surchargé, et, détruisant peu à peu le fluide libre, elle ramène le nuage à l'état *neutre*, c'est-à-dire à l'état d'équilibre électrique.

Ainsi, l'action du paratonnerre est silencieuse, lente, tranquille et sans grands effets extérieurs. Ce n'est que dans le

cas d'une extrême surabondance d'électricité dans l'atmosphère que la recomposition des deux fluides se fait brusquement et que le paratonnerre reçoit un véritable coup de foudre, ainsi que le représente la figure 275. Ce cas est rare, surtout quand le paratonnerre est bien construit. L'art du physicien doit tendre à éviter ces chutes de la foudre sur l'instrument, qui en est toujours gravement endommagé. Aussi est-il bon, après chaque orage, de visiter toutes les pièces de l'appareil, afin de s'assurer qu'elles n'ont subi aucune avarie.



XXII

LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE

Historique. — Première mention du télégraphe électrique. — Georges Lesage construit le premier télégraphe électrique. — Autre projet de télégraphe électrique. — La découverte de la pile de Volta fait reprendre les essais de télégraphie électrique. — Télégraphe de Sæmmering, Schilling et Alexander. — Découverte de l'aimantation temporaire du fer, par Arago. — Principe général sur lequel repose la construction de tous les télégraphes électriques. — Télégraphe électrique de Morse. — Télégraphe anglais, ou télégraphe à aiguilles. — Télégraphe cadran, employé pour le service des chemins de fer. — Télégraphe imprimant. — Le télégraphe sous-marin. — La télégraphie sous-marine transatlantique. — État présent des câbles télégraphiques transatlantiques; leur nombre et leur trajet

Après avoir étudié, avec le paratonnerre, la plus importante application de l'électricité statique, nous passerons en revue les applications les plus intéressantes qu'a reçues l'électricité dynamique, c'est-à-dire l'électricité en mouvement fournie par la pile de Volta. Au premier rang figure le télégraphe électrique.

La pensée d'appliquer l'électricité à une correspondance télégraphique, c'est-à-dire à la transmission instantanée de signes ou de lettres d'un lieu à un autre, s'est naturellement présentée à l'esprit des physiciens dès que l'on eut connaissance des phénomènes électriques, et surtout dès que l'on eut constaté que l'électricité se transmet d'un point à un autre dans un espace de temps inappréciable. Après l'année 1750, c'est-à-dire après les travaux de Grey, Dufay, Musschenbroeck, Lemonnier et Franklin, l'idée d'appliquer à la télégraphie

la précieuse et mystérieuse force de l'électricité ne tarda pas à éclore.

On trouve dans le *Scot's Magazine*, recueil écossais, une lettre signée d'une simple initiale, qui renferme la description d'un télégraphe électrique déjà fort bien conçu. L'auteur de cette lettre, écrite de Renfrew, le 1^{er} février 1753, n'est pas connu. Cette idée attira, d'ailleurs, fort peu l'attention, car l'instrument proposé par le savant anonyme ne fut pas exécuté.

Il en fut autrement d'un appareil imaginé par un savant genevois, d'origine française, Georges-Louis-Lesage.

En 1760, Lesage, professeur de mathématiques à Genève, conçut le projet d'un télégraphe électrique, et il construisit cet instrument en 1774. Ce premier télégraphe électrique se composait de vingt-quatre fils métalliques séparés les uns des autres et enfermés dans une substance non conductrice. Chaque fil aboutissait à une tige portant une petite balle de sureau suspendue à un fil de soie. Un des fils étant touché à l'une des stations, avec un bâton de cire électrisé par le frottement, la balle de sureau était repoussée à l'autre station, et ce mouvement désignait une lettre de l'alphabet.

La figure 276 représente le télégraphe électrique rudimentaire, qui fut construit à Genève, par Lesage. Dans l'une des pièces de l'appartement est placée la machine électrique, avec les vingt-quatre fils conducteurs ; dans la pièce suivante sont disposés les vingt-quatre électromètres, surmontés chacun d'une lettre de l'alphabet.

L'idée de faire servir le fluide électrique à la télégraphie, se présenta, vers la même époque, en Allemagne, en Espagne et en France, à beaucoup de physiciens, qui firent connaître, avec plus ou moins de précision, des appareils fondés sur ce principe. Lhomond, en France, en 1787, — Bettancourt, en Espagne, en 1778, — Reiser, en Allemagne, en 1794, — François Salva, médecin de Madrid, en 1796 — mirent cette idée en pratique, par différentes dispositions.

Mais ces divers instruments, qui fonctionnaient au moyen de l'électricité statique fournie par la machine à plateau de verre, n'étaient guère autre chose que des curiosités de cabinet, et n'auraient pu servir à une véritable correspondance télégraphique. En effet, l'électricité statique, développée par



Fig. 276. Télégraphe électrique de Georges Lesage, construit en 1774.

Le frottement, ne réside qu'à la surface des corps et tend toujours à abandonner ses conducteurs, par diverses causes, en particulier par l'action de l'air.

Les télégraphes électriques fondés sur l'emploi de l'électricité statique, ne pouvant rendre aucun service dans la pratique, l'art de la télégraphie dut renoncer à faire usage de ces instruments. Sur ces entrefaites, un système parfait de télégraphie aérienne ayant été découvert par l'abbé Claude Chappe, les signaux aériens furent adoptés en France, à partir de 1793, comme moyen de télégraphie, et cette méthode se propagea bientôt dans l'Europe entière.

L'électricité statique ne pouvait, avons-nous dit, s'appliquer avec avantage à la correspondance télégraphique; mais la découverte de la pile de Volta, qui fournissait une source constante d'électricité dynamique (forme sous laquelle l'électricité n'a aucune tendance à s'échapper des corps qui la recèlent), vint changer la face de la question. A partir de ce moment, on put songer sérieusement à faire usage de l'électricité comme agent de télégraphie.

Dans les premiers temps de la découverte de la pile de Volta, la décomposition de l'eau par le courant électrique avait particulièrement fixé l'attention des physiciens. C'est ce phénomène chimique qui servit de base au premier télégraphe électrique qui fut proposé pour tirer parti de la pile de Volta. En 1811, Sæmmering, physicien de Munich, donna la description d'un télégraphe fondé sur la décomposition de l'eau, que l'on produisait, à distance, dans différents vases représentant les vingt-quatre lettres de l'alphabet et les dix chiffres de la numération. Mais ce procédé présentait beaucoup de difficultés dans la pratique, tant par la complication qui résultait de l'emploi de plus de trente fils conducteurs, que par l'incertitude de la réaction chimique ainsi provoquée à une grande distance. Pour réussir, il fallait pouvoir substituer à la décomposition chimique de l'eau, un effet mécanique.

Jusqu'à l'année 1820, la science n'offrit aucun moyen de provoquer, au moyen de l'électricité, l'action mécanique nécessaire pour créer un bon télégraphe électrique. Ce moyen fut apporté par la remarquable découverte du physicien danois OErsted.

OErsted découvrit, en 1820, qu'un courant voltaïque circu-

lant autour d'une aiguille aimantée, écarte cette aiguille de sa position naturelle. C'est ce qui a été déjà indiqué en parlant des effets de la pile de Volta.

La figure 277 montre comment on dispose l'expérience. Dès

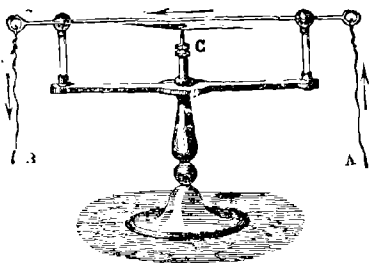


Fig. 277. Déviation de l'aiguille aimantée par le courant de la pile.

que le courant électrique est établi dans le fil AB, qui passe par-dessus l'aiguille aimantée, C, on voit cette aiguille se mettre en mouvement, prendre une direction opposée à sa direction habituelle et indiquer la ligne est-ouest, au lieu du nord.

Cette découverte était à peine signalée au monde savant, que les physiiciens songèrent à l'appliquer à la télégraphie.

Ampère¹ donna la description d'un appareil de correspondance télégraphique basé sur les déviations d'autant d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres dans l'alphabet. Il consigna son invention de la télégraphie électro-magnétique dans les termes suivants :

« Autant d'aiguilles aimantées que de lettres de l'alphabet, qui seraient mises en mouvement par des conducteurs qu'on ferait communiquer successivement avec la pile, à l'aide de touches de clavier qu'on baisserait à volonté, pourraient donner lieu à une correspondance télégraphique qui franchirait toutes les distances, et serait aussi prompte que l'écriture et la parole pour transmettre la pensée. »

Mais de tels effets étaient très faibles; il fallait en augmenter l'intensité. Une seconde découverte faite en physique fournit le moyen cherché.

Schweigger ayant enroulé sur lui-même le fil conducteur d'une pile, en l'isolant par une enveloppe de soie, et ayant placé une aiguille aimantée au centre de ce système, remarqua que la déviation de cette aiguille augmentait avec le nombre des tours du fil conducteur.

Schilling et Alexander purent fonder sur ce nouveau fait un système de télégraphie électrique. Mais leurs appareils étant

1. Né près de Lyon, en 1775, Ampère mourut en 1836.

composés d'un grand nombre de fils métalliques, nécessaires pour indiquer les lettres de l'alphabet, de sorte qu'il était presque impossible de les faire fonctionner d'une façon régulière, il fallut encore demander de nouvelles ressources à la science.

En répétant l'expérience d'Ørsted consignée plus haut (fig. 277), Arago découvrit ce fait fondamental, que l'électricité, circulant autour d'une lame de fer *doux*, c'est-à-dire très pur, communique à cette lame les propriétés de l'aimant.

Qu'on enroule autour d'une tige de fer *doux*, disposée en forme de fer à cheval, comme le montre la figure 279, un fil de cuivre, recouvert de soie, substance isolante, et qu'on mette les deux extrémités de ce fil en rapport avec les pôles d'une pile, aussitôt le fer devient un aimant, et peut attirer un autre morceau de fer placé à une certaine distance. Qu'on interrompe le courant, c'est-à-dire la communication du fer avec la pile, aussitôt le *fer doux* perd ses propriétés d'aimant, revient à son état naturel, et le morceau de fer qu'il avait attiré se détache de lui. En une seconde, on peut ainsi changer plusieurs fois un morceau de *fer doux* en aimant, puis lui rendre ses propriétés naturelles.

Si on fait usage d'une pile de quarante éléments de Bunsen,



Fig. 278. Arago.

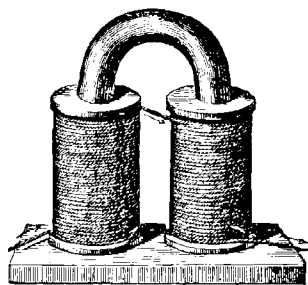


Fig. 279. Aimantation artificielle d'une tige de fer doux par le courant électrique.

et que l'on enroule le conducteur un grand nombre de fois autour d'une pièce de fer, façonnée en fer à cheval, comme l'indique la figure 280, on peut obtenir un électro-aimant ou

aimant artificiel, capable de porter plus de 500 kilogrammes.

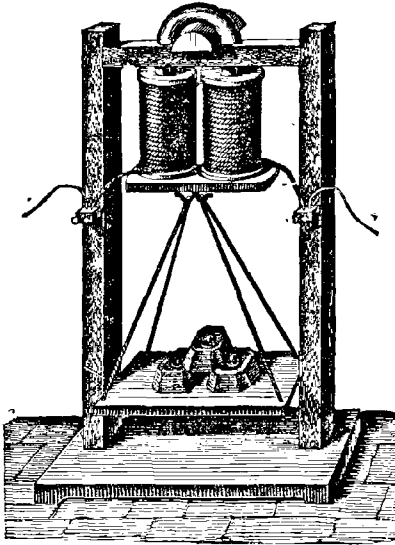


Fig. 280. Électro-aimant ou aimant artificiel.

L'aimantation temporaire du fer par le courant électrique, tel est le grand principe sur lequel sont fondés tous les appareils actuels de la télégraphie électrique. On va comprendre comment on peut produire, à distance, un effet mécanique, au moyen de l'aimantation temporaire du fer par le courant électrique.

Soit à Paris une pile en activité. Le fil conducteur de cette pile s'étend jusqu'à Calais, par exemple, et là il s'enroule autour d'une lame de fer, puis il est ramené à la pile, située à Paris. Le fluide électrique, partant de Paris, aimante la lame de fer placée à Calais; et si au-devant de cette lame on place un disque de fer mobile, ce disque,



Fig. 281.

aussitôt attiré, s'appliquera sur notre aimant artificiel et temporaire. Maintenant, supprimons, à Paris, la communication du fil conducteur avec la pile, la lame de fer qui se trouve à Calais est désaimantée; elle ne retient plus le disque de fer mobile, qui reprend alors sa position primitive, et cela d'autant plus aisément qu'un ressort pourra favoriser son mouvement en arrière, comme on le voit dans la figure 281.

Ainsi, en établissant et en interrompant successivement le courant à Paris, on obtient à Calais un mouvement de va-et-vient du disque de fer. Ce mouvement, que l'aimantation

temporaire permet d'exercer à distance, est le fait fondamental sur lequel repose la construction du télégraphe électrique.



On a construit un nombre très varié de télégraphes électriques. Ils sont tous fondés sur le principe de l'aimantation temporaire du fer, mais ils diffèrent les uns des autres par le mécanisme qui sert à appliquer ce phénomène à la production des signaux. La diversité des procédés qui ont été mis en usage, selon les préférences ou le génie des mécaniciens des divers pays, pour tirer parti de ce mouvement, a donné naissance aux différents appareils de télégraphie électrique qui sont en usage aujourd'hui.

Pour ne pas nous égarer au milieu de la multiplicité des systèmes actuels de télégraphie électrique, nous les réduirons aux suivants :

- 1° L'appareil américain, ou *appareil Morse* ;
- 2° L'appareil à aiguilles, qui est usité en Angleterre ;
- 3° L'appareil à cadran, qui sert principalement aujourd'hui pour les chemins de fer ;
- 4° Enfin, l'appareil imprimant, c'est-à-dire qui inscrit la dépêche en signes coloriés ou en caractères d'imprimerie.

Télégraphe Morse. — Samuel Morse, physicien des États-Unis, mort en 1872, est généralement considéré comme le créateur de la télégraphie électrique. Il imagina, dit-on, cet instrument, le 19 octobre 1832, en retournant de France en Amérique, à bord du navire *le Sully*.

Voici la disposition du télégraphe de Morse, tel qu'il fonctionne aujourd'hui dans les principaux États de l'Europe. C'est, comme on va le voir, un télégraphe qui écrit lui-même les dépêches à la station d'arrivée.

A (fig. 282) est un électro-aimant double. Chaque électro-aimant se compose (*e, f*) d'un long fil de cuivre entouré de soie, enroulé autour d'une lame de fer. Au-dessus et à peu de distance, on voit la lame de fer, B, qui sera attirée par l'électro-aimant, A. Cette lame est liée à un levier métallique coudé, CD. Quand on fait passer le courant, la plaque de fer, B, vient s'appliquer sur l'électro-aimant, A. Cette plaque étant attachée au levier coudé, CD, et ce levier basculant autour

du centre auquel il est lié, son extrémité, C, s'abaisse, et son extrémité libre, D, qui porte un poinçon, s'élève et se met en contact avec une bande de papier, X, laquelle, à l'aide de rouages d'horlogerie, H, possède un mouvement continu et uniforme. Si l'on interrompt le courant, la lame B n'est plus attirée, et un ressort à boudin, E, a pour effet d'abaisser le levier CD, et par conséquent de relever la pièce B dès qu'elle n'est plus retenue par l'influence temporaire de l'électro-aimant.

Ainsi, par l'établissement et l'interruption alternatifs du

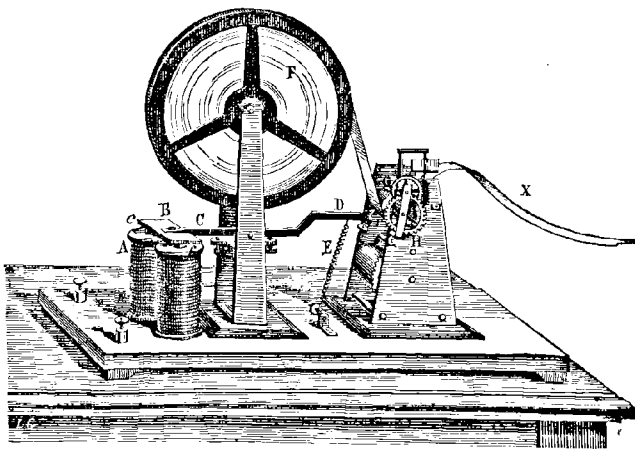


Fig. 282. Télégraphe électrique Morse. — Appareil récepteur des signaux.

courant électrique, la tige D, qui porte le poinçon (fig. 282), est animée d'un mouvement alternatif d'élévation et d'abaissement, et peut former une série d'empreintes sur la bande de papier, X, qui se déroule continuellement et d'un mouvement uniforme. On voit dans la même figure la roue, F, qui porte la provision de ruban de papier dont l'extrémité passe sur la poulie G pour recevoir le coup de poinçon. On aperçoit aussi le mouvement d'horlogerie, H, qui produit le mouvement de déroulement constant de ce papier.

Cet appareil, c'est-à-dire le *récepteur des signaux*, est placé à la station d'arrivée. La pile, ainsi que l'instrument qui sert à établir et à interrompre successivement le courant, c'est-à-dire l'*expéditeur*, sont à la station de départ.

Ce dernier appareil se compose d'un petit bouton métallique **B** (fig. 283), fixé à l'extrémité d'une tige métallique, **T**. Par son élasticité, cette tige métallique tend constamment à se relever. Si on presse le bouton avec le doigt, on applique ce bouton contre une petite virole métallique, laquelle communique, au moyen d'une lame conductrice métallique placée au-dessous du plateau, avec deux petites viroles, *aa*, auxquelles sont attachés les deux fils conducteurs de la pile.

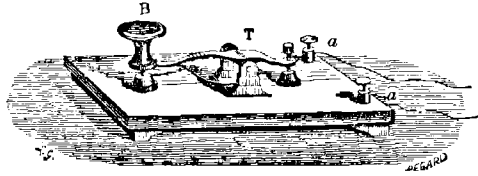


Fig. 283. Téliégraphie éleétrique de Morse. — Appareil expééiteur des signaux.

Ainsi, en pressant le ressort et l'abandonnant ensuite à son

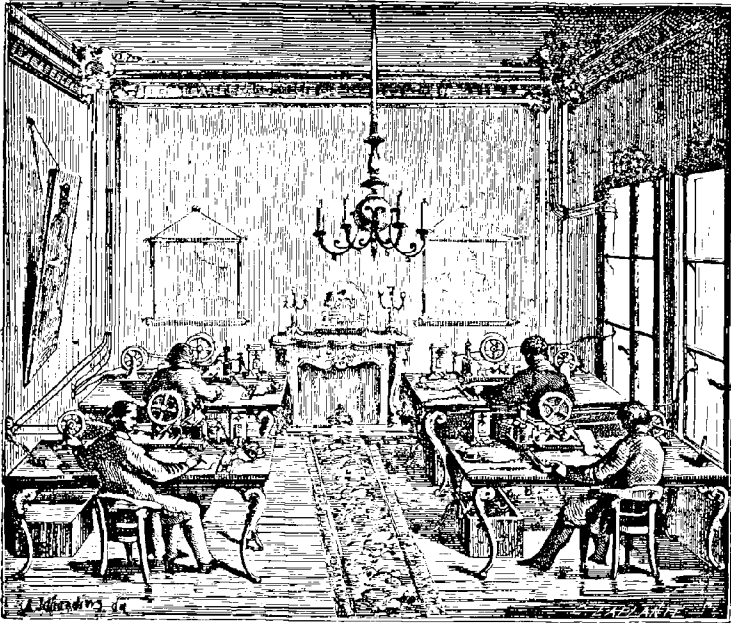


Fig. 284. Réception d'une dépêche dans un bureau de télégraphie éleétrique contenant des appareils Morse.

élasticité, on établit et l'on interrompt successivement le passage de l'électricité dans l'appareil télégraphique, placé à l'autre station.

Quand le circuit est ouvert et fermé rapidement, le poinçon de l'appareil télégraphique établi à l'autre station, marque de simples points sur le papier. Selon que le courant est établi plus ou moins longtemps, on obtient des lignes d'une longueur plus ou moins considérable. Enfin, les espaces blancs résultent de l'interruption du courant.

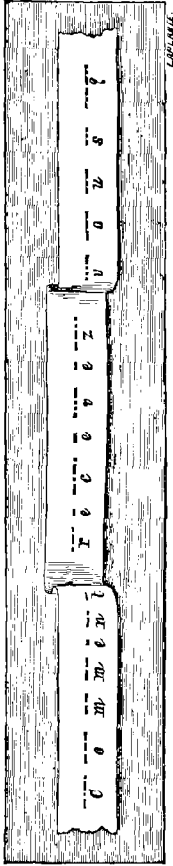


Fig. 285. Comment recevez-vous ?

Le point et la ligne fournissent autant de combinaisons qu'il est nécessaire pour une correspondance. Les lettres, représentées au plus par une suite de quatre signaux, sont séparées les unes des autres par des espaces blancs, et les mots par des intervalles un peu plus grands. Selon la durée du contact du poinçon métallique avec le papier, on peut former un point ou une ligne d'une longueur plus ou moins grande. Si l'aimantation n'a duré qu'un instant, le papier ne conserve que l'empreinte d'un point; mais, si l'aimantation s'est prolongée, le poinçon, avant de se relever, a eu le temps de marquer sur le papier mobile un trait d'une certaine longueur.

Ainsi, en prolongeant plus ou moins la durée du courant électrique, l'employé de la station du départ peut, à cent lieues de distance, faire succéder sur le papier de son correspondant un point à un point, un trait d'une longueur médiocre à un trait plus long; il peut intercaler un point entre deux traits, ou un trait entre deux points, etc. De la combinaison de ces lignes et de ces points résulte un alphabet de convention, l'*alphabet de Morse*, qui traduit en signes particuliers les caractères de l'écriture.

Un point et une ligne (—) représentent la lettre A; une ligne et deux points (—·) représentent la lettre B; trois points (...) la lettre C, etc. On peut composer ainsi des mots et des phrases.

Nous donnons ici (fig. 285) un spécimen du papier couvert

des signes du télégraphe Morse. La phrase : *Comment recevez-vous?* qui est d'un fréquent usage dans le service, est écrite en caractères télégraphiques.

Le télégraphe électrique que nous venons de décrire est le premier qui ait fonctionné aux États-Unis.

C'est au mois de mai 1844 que fut inaugurée, aux États-Unis, la première ligne télégraphique. Elle fut établie entre Washington et Baltimore, par Samuel Morse, qui eut la gloire de créer les instruments de cet art nouveau, et de construire la première ligne télégraphique qui ait mis deux villes en communication.

Le télégraphe Morse n'a pas cessé, depuis cette époque, de fonctionner aux États-Unis. Il est aujourd'hui d'un usage presque exclusif en Europe. La France, l'Allemagne, la Suisse, l'Italie, emploient le télégraphe de Morse. En Angleterre seulement, on persiste à se servir d'un autre instrument, beaucoup moins sûr dans son jeu, et que nous allons décrire.

Télégraphe anglais, ou télégraphe à deux aiguilles. — Le télégraphe anglais, ou à deux aiguilles (fig. 286), a été imaginé par Wheatstone, physicien anglais mort en 1875, à qui l'on doit l'établissement de la télégraphie électrique en Angleterre.

Ce télégraphe se compose de deux aiguilles aimantées, qui peuvent se mouvoir et s'arrêter par l'action du courant électrique, établi ou interrompu. On met à volonté chacune de ces aiguilles en mouvement à l'aide de deux poignées, qui laissent circuler le courant autour d'elles. Sous l'influence du courant électrique, l'aiguille aimantée est déviée de sa direction vers le nord, et exécute un déplacement qui sert de

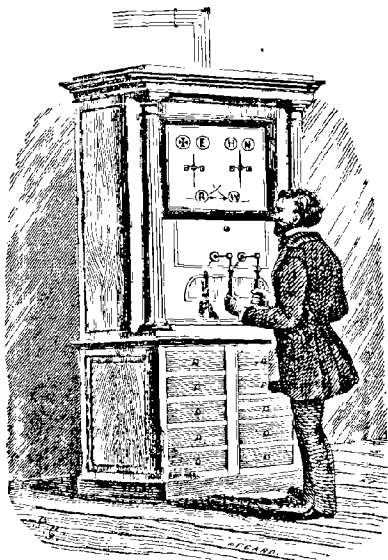


Fig. 286. Télégraphe électrique anglais, ou appareil à deux aiguilles.

signe télégraphique. En effet, ces aiguilles étant au nombre de deux, on a pu former un alphabet d'après le nombre de coups frappés par l'aiguille de droite, par celle de gauche, ou par toutes les deux simultanément. La lettre E, par exemple, est représentée par un coup de l'aiguille de gauche et deux de l'aiguille de droite; la lettre F par un coup de l'aiguille de gauche et trois de l'aiguille de droite, etc.

Il faut nécessairement compter ici sur l'adresse et l'habitude des employés pour suppléer à l'insuffisance du mécanisme. On se sert d'enfants qui ont acquis dans cet exercice une habileté prodigieuse, et qui font mouvoir les aiguilles avec la rapidité de la pensée.

Si le télégraphe anglais a l'avantage de la simplicité, il n'a point celui de l'économie ni de l'exactitude. Il exige, en effet, pour mettre en action les deux aiguilles aimantées, deux fils conducteurs et deux courants électriques, au lieu d'un seul fil et d'un seul appareil voltaïque, qui suffisent dans le système Morse. Cette circonstance double nécessairement les dépenses d'installation. Ce système présente, en outre, l'inconvénient, que nulle trace du message ne peut y être conservée. Tout dépend de la mémoire des employés, qui peut être en défaut, qui l'est quelquefois, en effet, et c'est là ce qui explique les erreurs assez fréquentes qui sont commises dans les dépêches sur les lignes anglaises.

Télégraphe à cadran. — Le télégraphe électrique à cadran a été imaginé par Wheatstone.

Ce système, assez compliqué, n'est point en usage pour le service de la correspondance télégraphique, publique ou privée; il est spécialement affecté à l'usage des chemins de fer. En raison de cette circonstance, qui ôte pour nous une partie de l'intérêt de cet instrument, nous nous contenterons de faire connaître le principe général sur lequel il est fondé, sans entrer dans les détails de son mécanisme. Voici donc le principe général sur lequel repose le système du *télégraphe à cadran*.

A la station de départ est disposé un cadran circulaire sur lequel sont inscrits les vingt-quatre lettres de l'alphabet et les dix chiffres de la numération. Ce cadran est mis en relation, par le fil de la pile, avec un autre cadran tout semblable, placé à la station d'arrivée et sur lequel se répètent exactement les mouvements exécutés sur le premier. Veut-on transmettre

une dépêche, à la station de départ, on amène successivement les diverses lettres qui composent les mots devant un point d'arrêt du cadran de l'appareil *expéditeur*, et par l'établissement ou la rupture alternative du courant qui fait mouvoir l'aiguille, ces mêmes lettres apparaissent, au même moment, sur le cadran *récepteur*, à la station d'arrivée, par l'effet de l'établissement ou de l'interruption du courant voltaïque à cette station.

La figure 287 représente le *manipulateur*, ou *expéditeur*, du télégraphe à cadran, et la figure 288 le *récepteur*. A l'aide de la poignée M (fig. 287), on amène le levier sur une des lettres, puis sur une autre,

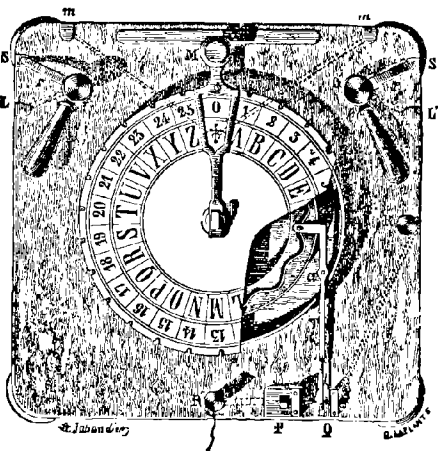


Fig. 287. *Expéditeur* du télégraphe à cadran.

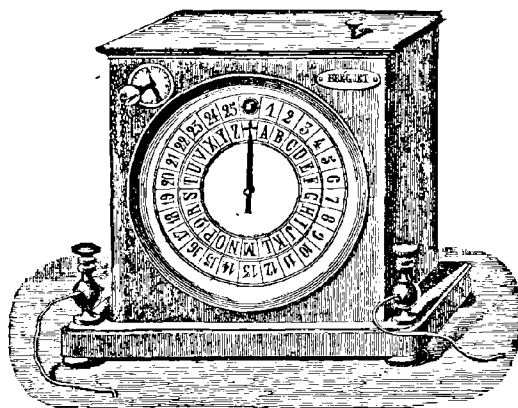


Fig. 288. *Récepteur* du télégraphe à cadran.

et l'on compose ainsi les mots de la dépêche. Ces lettres et ces mots viennent se reproduire sur le cadran du *récepteur* (fig. 288).

La figure 289 montre le télégraphe électrique à cadran établi dans un poste télégraphique, sur le parcours d'un chemin de fer.

On voit sur une table le *récepteur*, sur une autre l'*expéditeur*. Les piles sont placées sous une des tables. Pour transmettre une dépêche, l'employé fait agir l'*expéditeur*; pour lire celle qu'on lui envoie, il suit des yeux le mouvement de l'aiguille du *récepteur*, c'est-à-dire du cadran. La dépêche étant reçue, l'employé la consigne par écrit comme on le voit sur la figure.



Fig. 289 Vue intérieure d'un poste de télégraphie électrique sur un chemin de fer.

Une sonnerie à timbre l'avertit quand une dépêche va lui être expédiée.

Télégraphe imprimant. — On désigne sous ce nom un télégraphe électrique qui, à l'aide d'un mécanisme particulier, trace sur le papier, en caractères d'imprimerie ou autres, la dépêche envoyée. Le moyen mécanique qui permet d'atteindre ce résultat consiste à pousser, par la force électro-magnétique qu'engendre la pile, une lettre ou caractère d'imprimerie recouvert d'encre, contre une bande de papier qui se déroule continuellement d'une manière uniforme grâce à un mouvement d'horlogerie.

Ce système n'est point en usage en Europe. Il est employé seulement sur un petit nombre de lignes aux États-Unis. Le télégraphe Morse, aujourd'hui presque universellement adopté en Europe, remplit d'une manière suffisante l'office de télégraphe imprimant, puisqu'il marque sur le papier, au moyen d'un poinçon, des traces parfaitement visibles et qui, d'après leur signification convenue, servent à composer des mots.

Un *télégraphe imprimant*, qui fonctionne d'une manière très satisfaisante, est celui de l'abbé Caselli, qui fut pendant quelques années établi, sur les lignes télégraphiques de Paris à Lyon et à Marseille, mais que l'on a supprimé depuis longtemps, comme inutile.



Nous n'avons encore rien dit de la construction des lignes de télégraphie électrique, et particulièrement du mode d'installation des fils parcourus par le courant. Arrivons à cet important objet.

Les fils du télégraphe sont en cuivre. Leur diamètre est de 3 à 4 millimètres. Ils donnent passage au courant de la pile établie à la station du départ. Le long de tout leur parcours, ils sont supportés par des poteaux de bois. Ces poteaux ont de 7 à 8 mètres de hauteur, et sont éloignés l'un de l'autre de 50 à 70 mètres. Ils sont injectés de matières conservatrices, c'est-à-dire de sels de cuivre ou de goudron, pour prévenir leur destruction trop rapide.

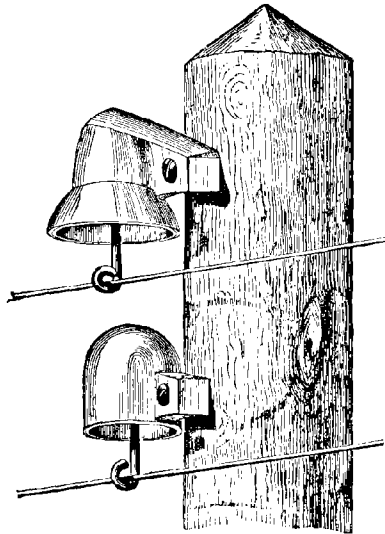


Fig. 290. Poteau télégraphique et cloche isolante de porcelaine.

Il faut nécessairement isoler le fil aux points de contact avec les poteaux télégraphiques, qui sont bons conducteurs de l'électricité. Sans cela, le courant électrique irait se perdre dans le sol. L'isolement est obtenu en faisant reposer le fil sur

un crochet de fer qui est attaché à une matière non conductrice de l'électricité : une clochette de porcelaine.

Les figures 290 et 291 font voir quelle est la disposition du

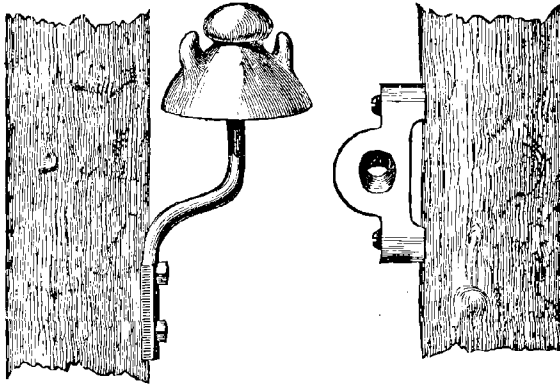


Fig. 291 et 292. Autres formes des cloches de porcelaine servant à isoler le fil télégraphique.

fil et la forme de la petite cloche en porcelaine destinée à isoler le conducteur.

Quelquefois, au lieu d'un crochet de fer et d'une clochette de porcelaine, on se sert d'un anneau tout en porcelaine :

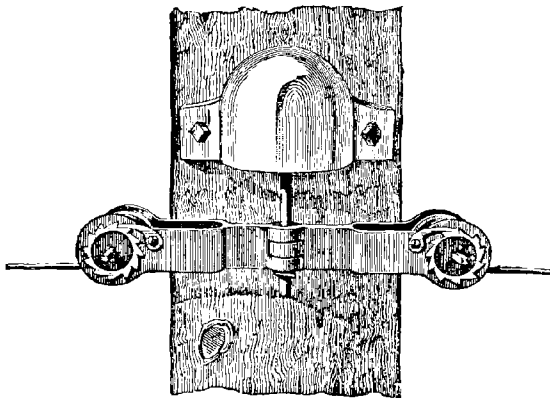


Fig. 293. Cric pour tendre les fils télégraphiques.

le fil passe par le trou de l'anneau, qui sert à la fois de support et d'isolateur (fig. 292).

Comme il faut tenir le fil constamment tendu, on place, de distance en distance, des poteaux portant un petit appareil.

tenseur, composé d'un cric, que l'on fait tourner au moyen d'une clef, et qui enroule le fil autour d'une petite poulie quand il s'agit de tendre plus fortement une partie vacillante de la ligne de fils (fig. 293).



Pour continuer cet exposé, nous parlerons de la télégraphie sous-marine.

La science a réalisé une des merveilles des temps modernes

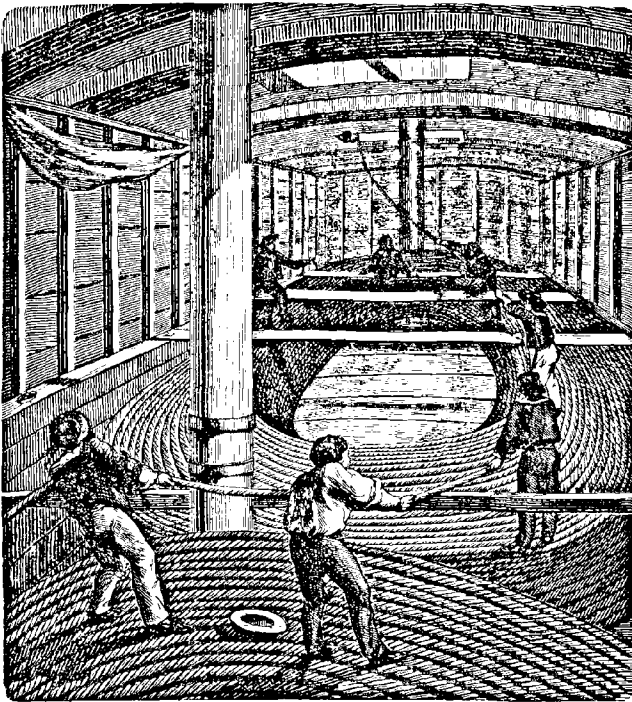


Fig. 294. Déroulement du câble télégraphique sous-marin de Douvres à Calais arrimé dans la cale du navire.

en continuant au delà des terres les communications télégraphiques au moyen de fils conducteurs déposés sur le fond des mers.

La télégraphie électrique sous-marine a présenté longtemps de grandes difficultés, par suite de l'insuffisance et de la cherté des différentes matières dont on pouvait faire usage pour obte-

nir l'isolement du fil au milieu de la masse, éminemment conductrice, des eaux de la mer. Ce n'est qu'en 1849 que la gutta-percha, substance importée de la Malaisie, et qui constitue un excellent isolateur du fil électrique, permit de résoudre le problème de la télégraphie sous-marine.

C'est en 1851 que fut immergé le télégraphe sous-marin entre Douvres et Calais. Le conducteur était un câble métal-

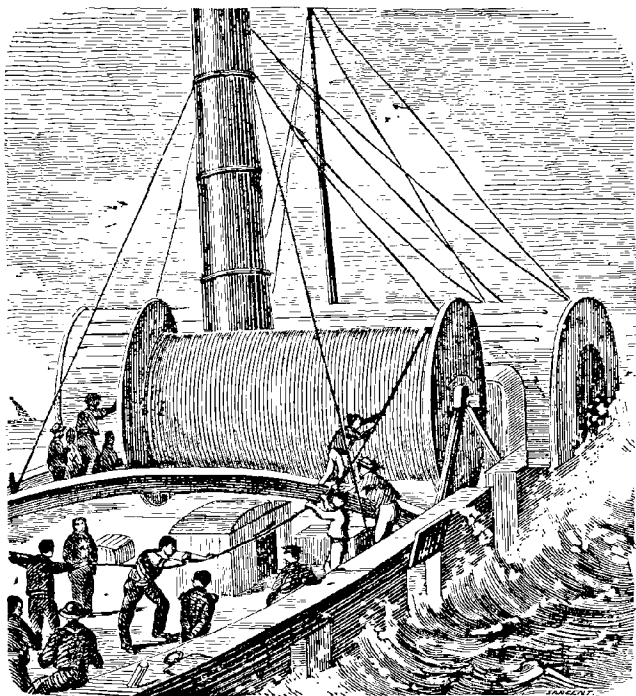


Fig. 295. Enroulement du câble télégraphique de Douvres à Calais, autour de la bobine placée sur le pont.

lique, souple et solide à la fois. Quatre fils de cuivre, contenus dans une gaine de gutta-percha, étaient entrelacés avec quatre cordes de chanvre. Le tout était réuni par un mélange de goudron et de suif. Une corde de chanvre servait de fourreau au câble, qui était fortement serré à l'extérieur avec des fils de fer. La gutta-percha offrait un moyen parfait pour l'établissement d'un fil télégraphique à travers les mers : car si les liquides conduisent bien l'électricité, la gutta-percha est une

excellente substance isolante, et, par conséquent, elle est très propre à servir d'enveloppe pour un fil électrique sous-marin.

La pose d'un câble télégraphique sous-marin est une opération qui présente beaucoup de difficultés pratiques. Il s'agit de jeter au fond de la mer, sans le rompre, un conducteur électrique d'une excessive longueur.

On voit sur la figure 294 comment on procéda, en 1851, à la première partie de cette opération.

Le câble déposé dans la cale d'un navire à vapeur fut retiré de la cale, comme le montre cette figure ; ensuite, comme le

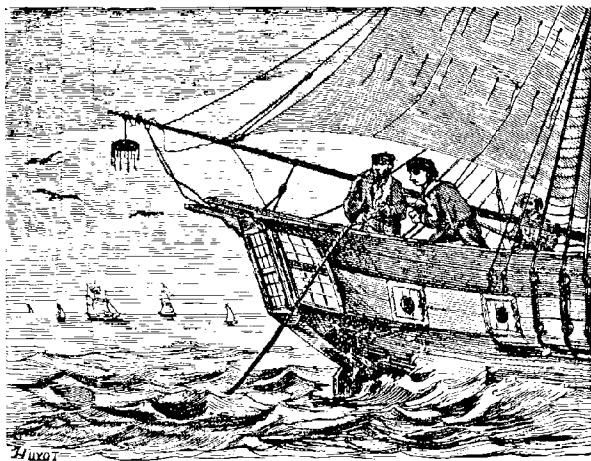


Fig. 296. Immersion du câble télégraphique de Douvres à Calais.

représente la figure 295, le câble allait s'enrouler, sur le pont du navire, autour d'une immense bobine de bois, placée près du tambour des roues du bâtiment. Alors, les matelots, dévidant le fil de cette énorme bobine, le jetaient à la mer (fig. 296). Le câble, par son propre poids, descendait rapidement jusqu'à ce qu'il eût touché le fond.

C'est là une opération extrêmement délicate et qui exige des marins très adroits. Il arrive trop souvent qu'une brusque secousse, imprimée au bâtiment par les vagues, brise le conducteur au moment où on le déroule à la mer. D'autres fois c'est l'extrême profondeur de l'eau qui provoque sa rupture ; car, à une certaine longueur, le poids du câble, non soutenu par le fond, devient si considérable, qu'il détermine sa rupture.

La longueur du câble télégraphique de Douvres à Calais est d'environ 30 kilomètres ; son diamètre est d'environ 3 centimètres, et son poids total de 180 000 kilogrammes. Il est aujourd'hui composé, comme le montre la figure 297, de quatre fils de cuivre, entourés d'une couche isolante de gutta-percha. Ces fils sont ensuite réunis et recouverts par une enveloppe commune de même matière, et le tout est solidement fixé au moyen de dix gros fils de fer recouverts de zinc.

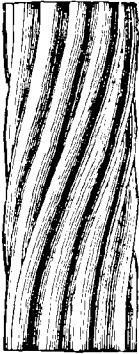


Fig. 297. Câble sous-marin de Douvres à Calais.

Il est bon de faire remarquer que ces dix fils de fer ne sont d'aucune utilité pour la communication électrique ; ils sont là seulement pour protéger les fils conducteurs et leur enveloppe, et donner à l'ensemble une force suffisante pour résister aux causes extérieures de destruction.

La figure 298 représente la section, ou la coupe, du câble télégraphique de Douvres à Calais. On voit au milieu les quatre fils de cuivre qui sont les conducteurs du courant électrique, et au pourtour les dix fils de fer qui les protègent.

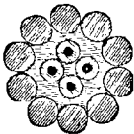


Fig. 298. Coupe du câble sous-marin de Douvres à Calais.

Le câble sous-marin d'Irlande, qui va de Holy-Head à Dublin, à travers 130 kilomètres de mer, ne contient qu'un seul fil de cuivre, tandis que sa cuirasse extérieure est composée de douze fils de fer assez minces. Aussi pèse-t-il dix fois moins, à longueur égale, que le conducteur de Douvres à Calais : son poids, par kilomètre, est seulement de 610 kilogrammes, et son poids total de 80 000 kilogrammes environ. Un seul jour suffit pour le dérouler et l'étendre au fond de la mer.

Ce système de communication sous-marine a fait en peu d'années de rapides progrès. Des télégraphes sous-marins réunissent aujourd'hui une foule de continents. L'Europe et l'Afrique sont rattachées par un télégraphe électrique partant du littoral de la France, aboutissant à la Corse, franchissant le détroit de Bonifacio qui sépare la Corse de la Sardaigne, et plongeant alors dans les profondeurs de la Méditerranée, pour aller, sans aucune interruption, se rattacher à la côte d'Afrique, aux environs de Bone.

En 1850, Bonelli, directeur des télégraphes électriques sardes, présida à la pose du premier câble sous-marin entre la Corse et l'Algérie.

En 1856, après la rentrée des armées alliées en Crimée, un câble électrique fut jeté à travers la mer Noire, entre Varna et Balaclava. C'est au moyen de ce câble que les gouvernements anglais et français étaient informés instantanément, à Londres et à Paris, des mouvements des armées en présence.

Les câbles sous-marins télégraphiques ont été singulièrement multipliés depuis vingt ans. La construction et la pose de ces conducteurs est devenue aujourd'hui tellement simple que la mer n'est plus un obstacle à la création de communications sous-marines. Non seulement la Méditerranée, mais la mer Rouge et la mer des Indes, ont reçu des conducteurs sous-marins, qui permettent d'établir une communication télégraphique depuis Londres jusqu'aux possessions anglaises des Indes et même jusqu'à la Chine et l'Indo-Chine.



Une entreprise grandiose fut tentée en 1858 ; il s'agissait de relier, par un câble sous-marin, l'Europe et le continent américain. Le câble qui fut construit avait 880 lieues de longueur ; il était formé de sept fils de cuivre, tordus ensemble et protégés par une enveloppe de gutta-percha et de fils de fer.

On réussit parfaitement à jeter ce câble au fond de l'Océan entre l'Irlande et l'île de Terre-Neuve, en Amérique : mais il ne put transmettre que pendant quelques jours le courant électrique, et l'on dut renvoyer à une autre époque une nouvelle tentative.

Reprise en 1865, l'opération échoua, par suite de la rupture du câble pendant son immersion.

Mais en 1866, les efforts des marins et des savants anglais furent couronnés d'un succès complet. Non seulement on put, au mois de juillet 1866, couler dans les profondeurs de l'Océan les 800 lieues de câble transatlantique, mais au mois de septembre suivant, on réussit à repêcher le câble perdu l'année précédente, et en y soudant un autre conducteur, on le fit servir de second télégraphe transatlantique.

Pour recevoir l'énorme masse de ce conducteur, il fallait

un navire de dispositions convenables et d'un tonnage extraordinaire. Le bâtiment anglais *le Great-Eastern*, le plus grand qui eut encore été construit (il avait plus de 200 mètres de long), fut aménagé pour recevoir à son bord l'effroyable longueur du conducteur télégraphique. On l'enroula au fond de la cale, et au mois de juillet 1866, commença l'opération difficile de son déroulement et de son immersion au fond de la mer, le long d'un trajet préalablement bien déterminé, et dont les profondeurs avaient été parfaitement reconnues d'avance, par une série de sondages qui avaient exigé trois ans de travaux de la part de la marine de l'Angleterre et de celle des États-Unis.

Le câble, à mesure qu'il sortait de la cale du *Great-Eastern*, était reçu sur deux roues en fonte, dont il faisait trois fois le tour avant de tomber à la mer. La première roue était munie d'un frein puissant, actionné par une machine à vapeur, qui, pressant contre le câble, modérait la rapidité de sa descente dans l'eau. Pour que le câble ne s'échauffât pas trop par le frottement contre les roues ou le frein, une vingtaine de matelots étaient sans cesse occupés à verser de l'eau de mer sur la roue et le frein. Le câble passait de là dans un canal de fonte, placé à l'arrière, et il descendait enfin à la mer. Un appareil fixé à la dernière roue enregistrait les longueurs de câble déroulées au fur et à mesure de leur immersion.

Deux navires à vapeur escortaient le *Great-Eastern*, occupé à dérouler le câble sous-marin. Ces deux navires éclairaient la marche. Ayant toute la liberté de leur manœuvre, ils allaient et venaient, pour secourir et seconder le *Great-Eastern* dans son opération.

Des appareils télégraphiques étaient établis à bord du vaisseau, et servaient à expédier des dépêches à Londres, au moyen de la partie du câble déjà immergée; de sorte que l'on était averti à chaque instant des phases parcourues par cette opération surprenante.

Elle réussit parfaitement, et, comme nous l'avons dit, une fois la pose de ce câble heureusement terminée, le *Great-Eastern* se mit à la recherche du câble perdu en 1865. Il le retrouva et le repêcha, malgré la profondeur énorme (3 600 mètres) à laquelle gisait le câble rompu.

Une fois repêché, le câble atlantique de 1865 fut soudé à

une portion du câble nouvellement préparée à cette intention, et que portait un navire particulier. On eut donc, ainsi que nous l'avons dit plus haut, un second câble télégraphique entre les deux mondes.

Pour mieux assurer ses rapports télégraphiques avec l'Amérique, l'Angleterre a multiplié ses câbles transatlantiques. En 1869 on en posa un troisième, et deux en 1874 ; de sorte

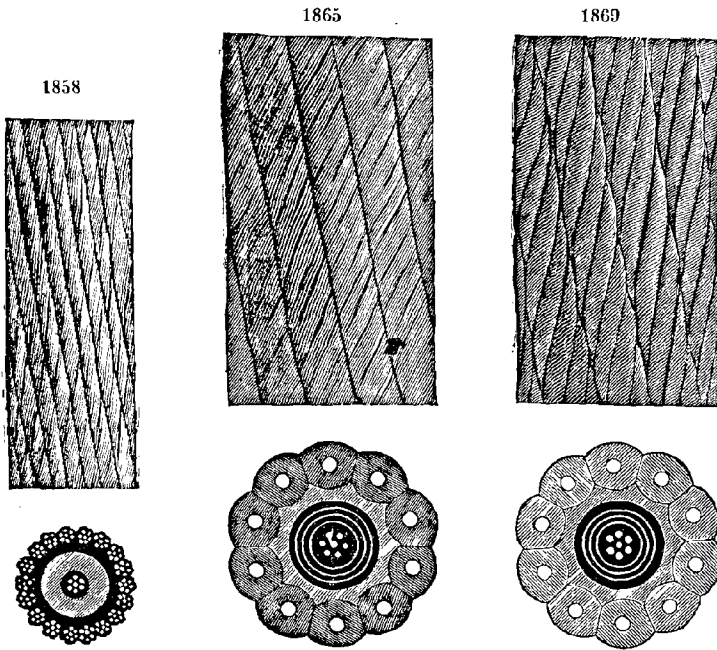


Fig. 299.

Fig. 300.

Fig. 301.

Câbles transatlantiques de la ligne de Valentia (Irlande) à Terre-Neuve (Amérique), dessinés de grandeur naturelle en élévation et en coupe.

qu'en 1876 on n'en comptait pas moins de cinq, partant tous de Valentia et aboutissant à Terre-Neuve.

Nous représentons dans les figures ci-dessus la composition de l'armature des câbles transatlantiques de 1858, 1865 et 1869.

La France n'a pas voulu rester en arrière de ce mouvement. Une compagnie française fit fabriquer en Angleterre un nouveau câble océanien, et au mois de juillet 1868, le *Great-Eastern*, ayant chargé ce câble à son bord, le déroula au fond de l'Océan, avec un plein succès.

La ligne transatlantique française part de Brest et va aboutir à l'île Saint-Pierre, d'où un autre câble la relie au continent américain.

Les figures 302 et 303 font voir la composition et la disposition

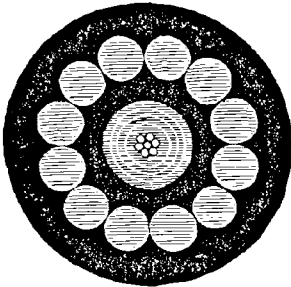


Fig. 302. Coupe du câble transatlantique français de Brest à l'île Saint-Pierre de Terre-Neuve (câble des profondeurs moyennes).

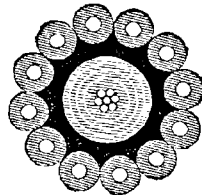


Fig. 303. Coupe du câble transatlantique français de Brest à l'île Saint-Pierre de Terre-Neuve (câble des eaux profondes).

tion du câble atlantique français de 1868 pour les profondeurs moyennes et les eaux profondes. La figure 304 donne la coupe

du câble le long des côtes, là où il est exposé à plus de causes de détérioration.

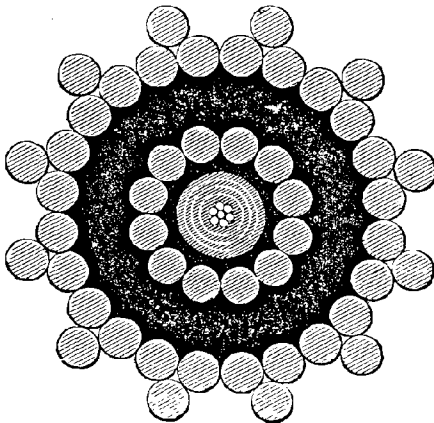


Fig. 304. Coupe du câble transatlantique français de Brest à l'île Saint-Pierre de Terre-Neuve (câble de côte, grandeur naturelle).

En 1880, un second câble atlantique français a été jeté du Havre à New-York. C'est à l'instigation de M. Pouyer-Quertier, de Rouen, que cette nouvelle communication télégraphique a été établie entre l'ancien et le nouveau monde.

La compagnie qui a été constituée pour cette entreprise, et qui porte le nom de *Compagnie française du télégraphe de Paris à New-York*, a eu pour résultat de créer des lignes télégraphiques entre la France et les États-Unis d'Amérique d'une part, et l'Angle-

terre et l'Amérique d'autre part, et de desservir les points intermédiaires.

Le réseau de la compagnie française du télégraphe de Paris à New-York comprend deux grandes communications télégraphiques complètes entre l'Europe et l'Amérique du Nord, en passant par l'île française de Saint-Pierre (Terre-Neuve).

La première de ces lignes relie la France à New-York. La seconde, qui a pour objet de doubler la première ligne, réunira l'Angleterre à la Nouvelle-Écosse.

Dans les figures 302, 303 et 304, qui représentent les coupes du câble transatlantique français allant de Brest à l'île Saint-Pierre de Terre-Neuve, on remarque une différence entre le diamètre du câble et le mode de défense du fil intérieur. C'est que l'on a cru devoir adopter, sur ce câble sous-marin, des différences de grosseur et de résistance selon la profondeur de l'eau. Le plus gros (fig. 304) est le câble de *côte*, le plus petit (fig. 303) celui de la pleine mer dans les eaux les plus profondes.

Aujourd'hui donc, sept câbles télégraphiques, dont cinq partant de l'Angleterre et deux de la France, transmettent les messages d'un monde à l'autre, malgré les mers et la distance.

Un fait très curieux se manifeste dans ces immenses câbles, qui mettent les deux mondes en communication électrique : c'est la différence d'heure qui s'observe aux deux bouts opposés du câble, c'est-à-dire en Europe et en Amérique. Les dépêches envoyées d'Europe dans l'Amérique du Nord y arrivent six heures environ avant l'heure à laquelle on les a expédiées de Paris ou de Londres. Un négociant français, par exemple, envoie, à dix heures du matin, une dépêche télégraphique à son correspondant des États-Unis : elle arrive en Amérique à quatre heures du matin du même jour. Ce fait provient de la différence des temps solaires, qui est de six heures entre Paris et la Nouvelle-Orléans, en d'autres termes, il résulte de la différence des longitudes. Pour une distance de 15° de longitude à l'ouest, le soleil est en retard d'une heure ; il s'ensuit que pour la Nouvelle-Orléans, qui est située à 90°, c'est-à-dire six fois 15° à l'ouest du méridien de Paris, le soleil se lève six heures plus tard que pour nous.

On pourrait donc, en quelque sorte, dire que par le câble transatlantique les dépêches sont reçues en Amérique avant d'être parties d'Europe. Quels étranges résultats la science

réalise et quel sujet continuel de surprise et d'admiration elle apporte à notre esprit !

Au fond, cependant, il est clair que les instants physiques des opérations sont les mêmes. En un moment donné, on compte une heure en un lieu et une autre heure en un lieu différent situé sur un autre méridien, voilà tout.

Nous donnerons, pour terminer, un relevé de l'état actuel de la télégraphie sous-marine, en général.

L'Angleterre et la France sont les deux pays qui possèdent le plus de câbles télégraphiques sous-marins. L'Angleterre en compte 30 et la France 17. La France et l'Angleterre sont actuellement reliées, comme il a été dit plus haut, par 7 câbles télégraphiques.

De 1850 à 1851, on ne construisit que deux câbles sous-marins ; cette belle entreprise n'en était encore qu'à ses débuts. En 1852 et en 1853, huit câbles furent immergés. En 1854, on en immergea sept ; en 1855, neuf ; en 1856 et 1857, un chaque année ; en 1858, cinq ; en 1859, treize ; en 1860, douze ; en 1861, un ; en 1862, deux ; en 1863, un ; en 1864, six ; en 1865, trois ; en 1866, dix ; en 1867, sept ; en 1868, deux ; en 1869, dix-sept ; en 1870, vingt-sept ; en 1871, vingt-six ; en 1872, deux ; en 1873, quatorze ; en 1874, treize ; et de 1876 à 1880, dix-huit.

Les plus longs de ces câbles sous-marins sont celui de Brest à l'île Saint-Pierre, qui n'a pas moins de 4 135 kilomètres, et celui du Havre à New-York ou le câble Pouyer-Quertier jeté en 1869, dont la longueur est encore supérieure à celle du câble de Brest à l'île Saint-Pierre. C'est donc la France qui a posé au fond de la mer les plus longs câbles télégraphiques.

Vient ensuite le câble allant de Valentia (Irlande) à la côte américaine de New-Foundland ; il a 3 093 kilomètres. Celui de Saint-Vincent à Pernambuco a 3 125 kilomètres.

Les plus grandes profondeurs d'immersion des câbles sont : 3 656 mètres pour celui de Malte à Alexandrie, — 4 431 mètres pour celui d'Irlande à New-Foundland, — 4 800 mètres pour celui de Portkarno, d'Angleterre à Lisbonne, — 5 045 mètres pour celui de Brest à Saint-Pierre.

Tout le monde sait que l'honneur d'avoir conçu le projet de la télégraphie trans-océanique revient à un ingénieur amé-

ricain, Cyrus Field. En 1864, le Congrès des États-Unis vota des remerciements publics à Cyrus Field, et lui offrit, au nom du peuple, une médaille d'or. L'ingénieur américain obtint le grand prix de l'Exposition internationale de Paris, en 1867.

Ce n'est qu'en 1870 et 1871 que des communications directes ont été établies entre l'Angleterre et l'Inde, entre l'Europe et la Chine, le Japon et l'Australie.

En ce moment, il ne manque plus qu'un câble jeté au fond de l'Océan Pacifique pour que la terre soit complètement entourée d'une ceinture de télégraphie électrique, selon le rêve de Cyrus Field. Lorsque le câble de l'Océan Pacifique sera posé, une ligne télégraphique continue enserrera le globe entier. Elle aura 8930 kilomètres de long et se divisera en trois sections, savoir : de San-Francisco à Honolulu (îles d'Hawaï), 3350 kilomètres; de Honolulu à Midway Island, 1852 kilomètres; et de ce dernier point à Yokohama (Japon), 3516 kilomètres.



XXIII

LA GALVANOPLASTIE

ET

LES DÉPÔTS ÉLECTRO-CHIMIQUES

LA GALVANOPLASTIE. — Opérations pratiques de la galvanoplastie. — Préparation du moule. — Manière d'effectuer le dépôt de cuivre dans l'intérieur du moule. — Applications de la galvanoplastie à la gravure, à la typographie, à la sculpture, etc. — Son origine. — Les dépôts électro-chimiques. — Dorure et argenture des métaux. — La vaiselle argentée et dorée par la pile. — Description de l'opération. — Précipitation de divers métaux les uns sur les autres. — Le cuivrage et le nickelage.

Nous étudierons dans ce chapitre la *galvanoplastie* et les dépôts métalliques obtenus par l'électricité.

LA GALVANOPLASTIE.

La galvanoplastie est une des applications les plus utiles qui aient été faites de la chimie aux opérations des arts. Elle permet d'obtenir, par de simples dissolutions salines, et grâce à l'action de l'électricité, des objets en cuivre et argent, que l'on n'avait pu produire jusqu'ici que par le travail du ciseau ou par la fonte de la matière métallique.

La galvanoplastie a pour but de reproduire un objet quelconque, en cuivre, ou argent. Pour obtenir cette reproduction, on opère sur un moule que l'on a pris sur l'original à reproduire. Le dépôt de cuivre ou d'argent s'obtient en décomposant par le courant d'une pile voltaïque une dissolution du sel contenant le métal à déposer : une dissolution de sulfate

de cuivre, s'il s'agit de provoquer un dépôt de cuivre; une dissolution d'azotate d'argent, si l'on veut obtenir par la pile une reproduction en argent.

Nous avons donc à considérer, pour décrire les opérations pratiques de la galvanoplastie :

1° La manière de préparer le moule;

2° La manière d'effectuer dans ce moule la précipitation du métal par le courant électrique.

La substance qui sert aujourd'hui presque exclusivement



Fig. 305. Vase à reproduire en cuivre.

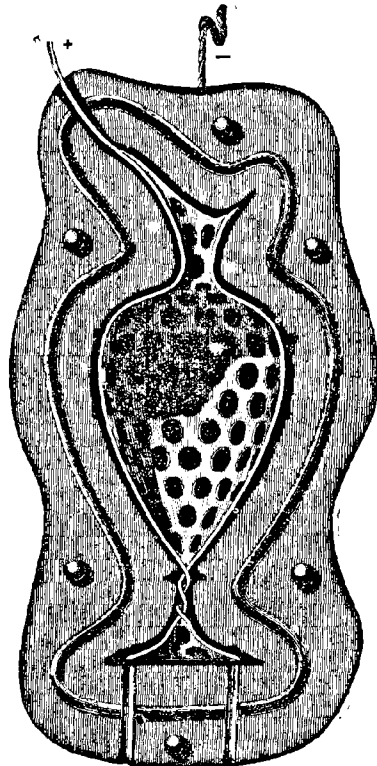


Fig. 306. Moule en gutta-percha du vase à reproduire en cuivre.

pour obtenir le moule destiné à reproduire l'original, c'est la *gutta-percha*. Ce produit naturel offre les plus précieuses qualités pour servir à cette opération, car il se ramollit par la chaleur, et il prend avec la plus grande facilité les formes d'un objet, quand, après l'avoir ramolli par le feu,

on l'applique, avec une légère pression, contre le modèle à reproduire. Par cette pression, la gutta-percha, matière éminemment plastique, pénètre dans tous les creux de l'original. Après le refroidissement, grâce à son élasticité, on l'arrache très facilement du modèle, dont elle conserve tous les détails avec une exquise fidélité.

Nous représentons, comme exemple de moulage en gutta-percha, un vase orné et sculpté (fig. 305). Ce vase, étant pressé contre la gutta-percha, donne le moulage que représente la figure 306.

Au lieu de gutta-percha, on se sert quelquefois d'autres matières plastiques, savoir : la gélatine appliquée à chaud et



Fig. 307. Moule d'une médaille obtenu avec le plâtre.

arrachée du moule après le refroidissement; le plâtre, qui prend très bien les empreintes; enfin, dans quelques cas particuliers, la cire à cacheter.

Le plâtre est employé pour prendre le moule des médailles, parce que cette matière est à bas prix et reproduit avec une grande fidélité tous les détails du modèle.

La figure 307 représente un moule de médaille obtenu avec le plâtre.

Mais la gutta-percha, ou le plâtre, qui forment presque tous les moules galvanoplastiques, ne conduisent point l'électricité, et ne donneraient pas passage au courant de la pile

destiné à décomposer le sulfate de cuivre. Il faut donc rendre la surface intérieure du moule conductrice de l'électricité. On y parvient en recouvrant, avec un pinceau, l'intérieur du moule de *plombagine* réduite en poudre.

La plombagine est une variété de charbon qui conduit fort bien l'électricité et qui donne à la gutta-percha, sur laquelle elle est appliquée, la conductibilité électrique qui est indispensable pour l'opération.

Le moule étant rendu conducteur de l'électricité par une légère couche de plombagine, il reste à provoquer dans son intérieur le dépôt du métal. A cet effet, on attache le moule au pôle négatif d'une pile de Bunsen, composée d'un ou de deux couples, selon le volume ou le nombre de pièces placées dans

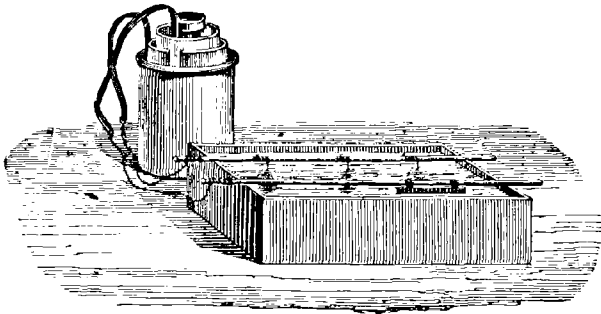


Fig. 308. Dépôt du cuivre dans l'opération galvanoplastique.

le bain, et on dépose ce moule dans une cuve de bois contenant une dissolution de sulfate de cuivre ¹, les fils conducteurs plongeant dans le bain, comme le montre la figure ci-dessus.

Par l'action du courant électrique, le sel de cuivre est décomposé, son oxyde est réduit en ses éléments, cuivre et oxygène ; l'oxygène se porte au pôle positif et se dégage dans l'air, le cuivre se porte au pôle négatif et se précipite à l'état métallique. Mais comme le moule de gutta-percha est attaché au fil négatif de la pile, c'est dans son intérieur que s'effectue la précipitation du métal. Les creux du moule se trouvent ainsi, au bout de quelques heures, remplis d'un dépôt de cui-

1. Comme cette dissolution finirait par s'épuiser, on a la précaution de placer au sein de la liqueur un sac contenant des cristaux de sulfate de cuivre. Les cristaux de sulfate de cuivre se dissolvent dans l'eau, à mesure qu'une partie du sel dissous est détruite par le courant, et de cette manière on entretient toujours le bain au même état de saturation.

vre. Ce dépôt augmentant sans cesse, par l'action continue du courant électrique, qui décompose le sulfate de cuivre, la capacité inférieure du moule se trouve bientôt occupée tout entière par un dépôt de métal, qui reproduit avec une fidélité extraordinaire les détails les plus délicats de l'original.

Au bout de deux ou trois jours, le moule étant entièrement recouvert et le dépôt métallique ayant pris toute l'épaisseur que l'on a jugé nécessaire de lui donner, on le retire du bain, on détache le dépôt du moule, auquel il n'adhère que faiblement, et l'on obtient ainsi une reproduction absolument exacte du modèle.

La figure 309 représente un atelier de galvanoplastie. Les ouvriers purifient la gutta-percha qui doit servir aux moulages. A cet effet, la gutta-percha est chauffée dans des fourneaux, et mise en fusion, pour la débarrasser des impuretés qu'elle contient quand on la prend dans le commerce. Une fois privée de ces impuretés, la gutta-percha est coulée en petites masses, et conservée pour la confection des moules. D'autres ouvriers s'occupent de *métalliser*, c'est-à-dire de rendre les moules conducteurs de l'électricité en les saupoudrant de plombagine. On aperçoit, à droite, les bains de sulfate de cuivre avec la batterie voltaïque qui doit décomposer ce sel et précipiter le cuivre dans l'intérieur des moules.

Le cuivre n'est pas le seul métal qui puisse servir aux reproductions galvanoplastiques. On peut, par des opérations toutes semblables, obtenir des dépôts d'argent, en faisant agir le courant de la pile sur des dissolutions d'azotate d'argent. On a réussi à produire par la pile des dépôts d'autres métaux, tels que l'or et le fer, mais la galvanoplastie ne sort guère de l'emploi du cuivre.



La galvanoplastie reçoit des applications fort étendues. Elle permet d'obtenir la reproduction des médailles, et de multiplier ainsi à peu de frais des types rares ou précieux. On en fait une application plus importante en reproduisant des statuettes, des bas-reliefs et diverses figurines d'art. On est même parvenu à obtenir par ce moyen des statues de grandes di-

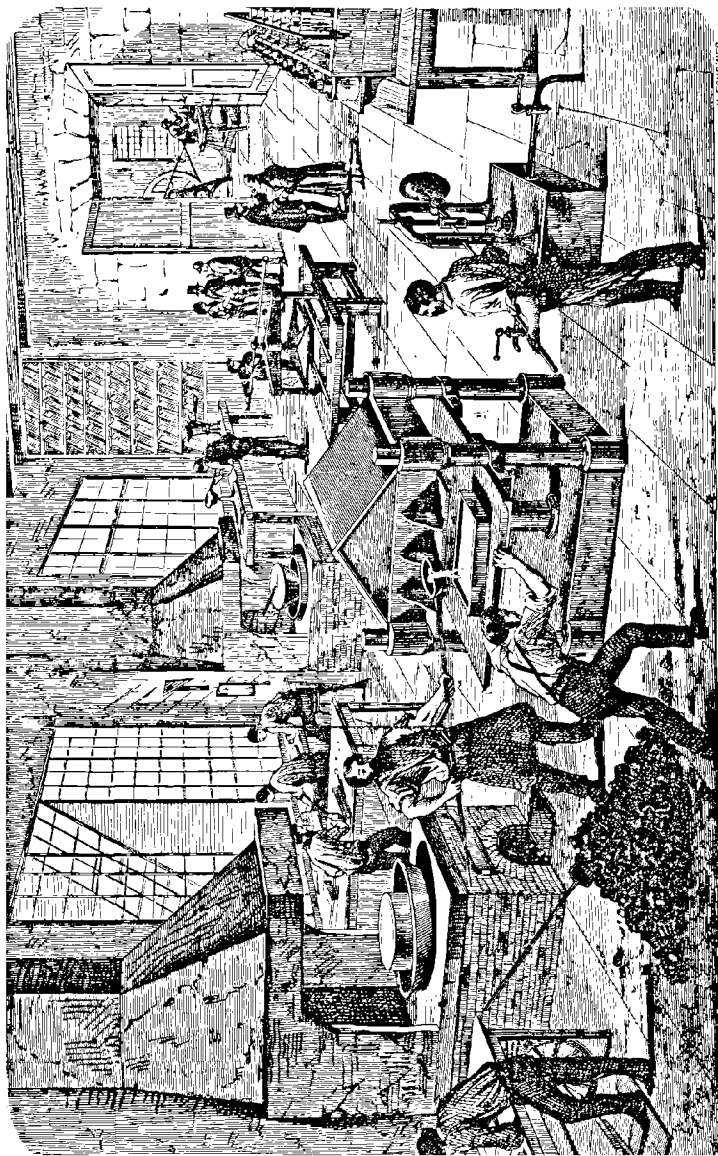


Fig. 309. Atelier de galvanoplastie (préparation de la gutta-percha pour le moulage des pièces).

mensions. On prend à part la reproduction de différentes parties de la statue, et l'on réunit ensuite ces parties, pour en composer la statue entière.

Cette belle application de la galvanoplastie a déjà donné d'importants résultats et elle est peut-être appelée, dans l'avenir, à remplacer le procédé actuel, c'est-à-dire la fusion et la coulée du métal de la statue dans un moule de sable.

Un des plus remarquables spécimens de la galvanoplastie est celui qui se voyait dans l'ancien musée des Souverains, au palais du Louvre, musée qui fut dispersé à l'avènement de la République. C'est la reproduction en argent de la statue d'Henri IV enfant. Les diverses parties de cette statue ont été obtenues à part dans des bains galvanoplastiques de cyanure d'argent, et soudées l'une à l'autre.

Les deux statues en cuivre doré qui dominent les deux côtés de la façade de l'Opéra de Paris, et qui ne mesurent pas moins de 5 mètres de hauteur, ont été obtenues par dépôt galvanique, dans les ateliers de M. Christophle.

L'art de la typographie et celui de la gravure ont déjà reçu de très importants services des procédés galvanoplastiques.

La galvanoplastie vient sérieusement en aide à l'imprimerie, en permettant de reproduire les matrices de caractères rares et épuisés.

Comme nous l'avons déjà dit en parlant de la gravure sur bois, on tire par la galvanoplastie plusieurs clichés en cuivre en relief des gravures sur bois, et ces clichés servent à imprimer les figures dans le texte des livres.

L'art de la gravure en creux tire également bon parti de la galvanoplastie, parce qu'il est facile, grâce à ses procédés, d'obtenir plusieurs reproductions semblables d'une planche de cuivre gravée. Une planche de cuivre exécutée par le burin du graveur est hors d'usage au bout d'un tirage plus ou moins long. Mais la galvanoplastie donne le moyen, avec cette première planche sortant des mains de l'artiste, de tirer plusieurs reproductions toutes semblables au type primitif. De cette manière, on n'a plus à craindre l'usure de la planche, puisqu'on ne fait point le tirage sur la planche elle-même, mais sur des clichés fournis par cette planche, qui devient alors, pour ainsi dire, éternelle.

Si l'on eût possédé la galvanoplastie au siècle dernier,

on aurait pu conserver les planches qui ont servi à tirer les belles gravures du dix-septième et du dix-huitième siècle, planches qui n'existent plus depuis longtemps,

Comment a-t-on été conduit à la découverte de la galvanoplastie ? Cet art merveilleux doit son origine à l'étude approfondie des effets chimiques de la pile de Volta. Dès que l'expérience eut appris que les courants électriques ont la propriété de décomposer les sels et d'en précipiter le métal, on songea à tirer parti de ce fait pour obtenir des dépôts métalliques à l'aide d'un courant électrique. En 1807, Brugnatelli, physicien de Padoue, élève de Volta, fit, le premier, connaître la manière d'obtenir par la pile des dépôts d'or et d'argent. Mais la galvanoplastie n'a été créée que vers 1837, par les travaux d'un physicien russe, H. Jacobi.

LES DÉPÔTS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

La dorure et l'argenture des métaux s'obtenaient autrefois par l'intermédiaire du mercure. Pour dorer ou argenter le cuivre, le bronze ou le zinc, on préparait un amalgame d'or ou d'argent, c'est-à-dire une combinaison de mercure et d'or pour la dorure, de mercure et d'argent pour l'argenture. Avec cet amalgame on barbouillait, au moyen d'un pinceau, la pièce à dorer ou à argenter ; on l'exposait ensuite au feu : la chaleur volatilisait le mercure, et l'or ou l'argent restaient appliqués sur la pièce.

Ce procédé de dorure et d'argenture était une source de dangers pour les opérateurs. La vapeur de mercure se répandait dans les ateliers, et l'atmosphère chargée de vapeurs mercurielles, étant respirée par les ouvriers, était pour eux la cause de graves maladies, en particulier de celle que l'on désigne sous le nom de *tremblement mercuriel*. La découverte de la dorure et de l'argenture par la pile a fait disparaître, au grand bénéfice de l'humanité, la meurtrière industrie de la dorure au mercure.

La dorure électro-chimique, qui a été imaginée en 1841, en Angleterre, par Elkington, est une application des plus heureuses de l'électrochimie. La dorure et l'argenture électro-chimiques ne sont autre chose, en effet, qu'une opération de

galvanoplastie dans laquelle on emploie, au lieu de moule, l'objet à argenter ou à dorer. La pile, le bain, et toutes les manipulations que nous avons décrites en parlant de la galvanoplastie, servent, sans aucune modification, pour les opérations de la dorure et de l'argenture électro-chimiques. Seulement, au lieu d'obtenir un dépôt avec épaisseur, on ne dépose qu'une faible couche de métal. La seule difficulté, c'est le choix du sel d'or et d'argent à employer.

Pour dorer par la pile un objet métallique de cuivre ou de bronze, on attache l'objet à dorer au pôle négatif d'une pile de Bunsen, dans un appareil semblable à celui qui est représenté par la figure ci-dessous. Le bain renferme du cyanure d'or dissous dans du cyanure de potassium. On met la pile en

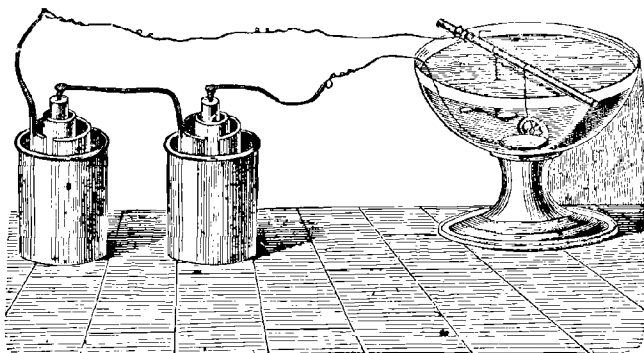


Fig. 310. Dorure par la pile (appareil simple).

action, et par l'influence du courant, le cyanure d'or se décompose : le cyanogène se dégage au pôle positif, l'or se précipite au pôle négatif, et vient recouvrir l'objet attaché au fil qui termine ce pôle. L'objet est ainsi doré. L'opération ne dure que quelques minutes. Si l'on veut obtenir une dorure d'une certaine épaisseur, on prolonge la durée du séjour de la pièce dans le bain.

Après cet intervalle, on retire du bain la pièce dorée. Il ne reste, pour lui donner le brillant de la dorure, qu'à la *brunir*, c'est-à-dire à la frotter avec un morceau d'agate ou d'un autre corps dur.

Quand on a une grande quantité d'objets à dorer, ainsi qu'il arrive dans les ateliers industriels, il est nécessaire de rendre l'opération continue, ce qui n'existerait pas s'il fallait

ajouter du nouveau sel d'or à mesure qu'il est décomposé et que le métal est précipité. Pour rendre l'opération continue, on fait usage de l'*électrode soluble*.

On appelle *électrode soluble* une lame de métal, une lame d'or (dans le cas qui nous occupe), que l'on attache, non plus au pôle négatif, comme quand on veut recueillir le dépôt du métal, mais bien au pôle positif de la pile. Là vient se dégager le cyanogène, si l'on fait usage du cyanure d'or, ou le chlore, si l'on fait usage de chlorure d'or. Le cyanogène ou le chlore dissolvent l'or, en le faisant passer à l'état de cya-

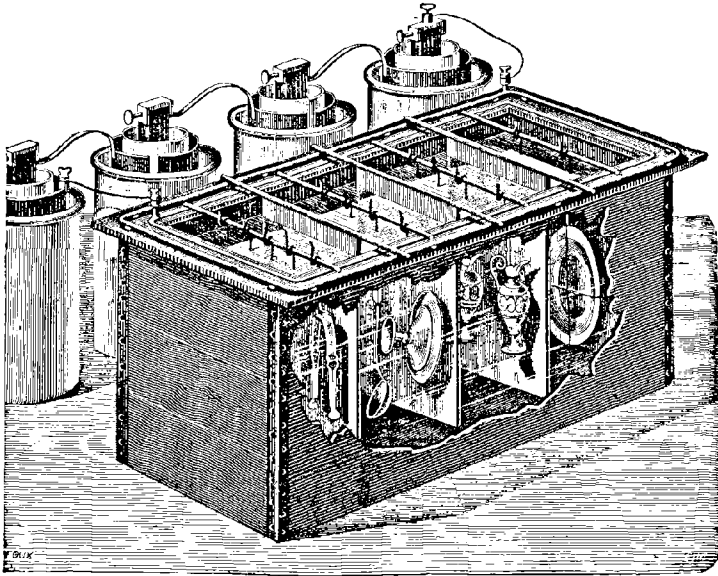


Fig. 311. Dorure par la pile (appareil composé).

nure, qui se dissout dans le cyanure de potassium du bain, ou à l'état de chlorure soluble dans l'eau. Par cet ingénieux artifice, l'or se dissout au pôle positif de la pile, à mesure qu'il se précipite au pôle négatif, et la dorure s'effectue sans interruption.

La figure 311 représente l'appareil dit *appareil composé*, qui sert, dans les ateliers, pour effectuer la dorure galvanique.

Les deux pôles de la pile aboutissent à deux tringles posées en travers de la cuve qui renferme le liquide. Les objets à dorer sont attachés à la tringle qui est en communication avec le pôle négatif. Une lame d'or est suspendue à la tringle

qui est en communication avec le pôle positif de la pile, de sorte qu'une partie de cette lame se dissout au fur et à mesure que la liqueur est décomposée par le courant et que l'or en est précipité.

En remplaçant le cyanure d'or par du cyanure d'argent, et dissolvant ce cyanure d'argent dans du cyanure de potassium, on obtient un bain qui, sous l'influence décomposante de la pile, argente les métaux avec la plus grande facilité. On conduit l'opération comme pour la dorure, et l'on obtient à la surface des corps placés dans le bain un dépôt d'argent, qu'il suffit de brunir pour lui donner le plus brillant éclat.

Pour l'argenture galvanique on fait usage, comme pour la dorure, d'un *électrode soluble* d'argent métallique.

La figure 312 représente l'appareil qui est employé pour l'argenture par la pile.

Les couverts à argenter sont suspendus à une tringle métallique en communication avec le pôle négatif de la pile ; l'*électrode soluble*, c'est-à-dire la lame d'argent, est roulée sur elle-même et placée au milieu du bain. On la met en communication avec le pôle positif de la pile. La lame d'argent se dissout et vient remplacer dans le bain l'argent qui s'est déposé au pôle négatif.

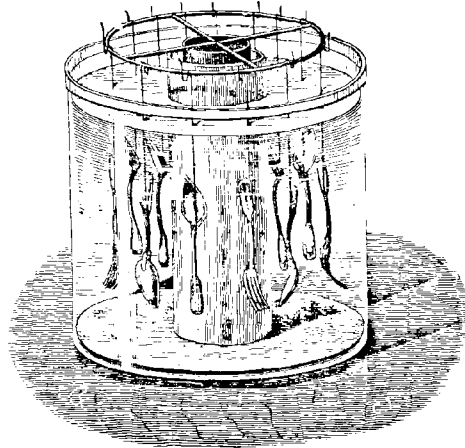


Fig. 312. Appareil pour l'argenture électro-chimique.

L'application industrielle la plus importante qui ait encore été faite de l'argenture et de la dorure électro-chimiques consiste dans la préparation de la vaisselle argentée ou dorée. Cette opération occupe une place considérable dans l'industrie moderne, car les couverts argentés par la pile voltaïque sont d'un très grand usage en tous pays. Pour un prix modique, chacun peut se procurer aujourd'hui les avantages hygiéniques et l'agrément qui résultent de l'emploi de l'argent pour

les besoins domestiques. Lorsque la couche d'argent a été enlevée au bout de quelques années d'usage, on fait recouvrir les couverts d'une nouvelle couche du même métal par le courant voltaïque.

C'est ainsi que les sciences remplissent, de nos jours, la bienfaisante mission de mettre à la portée du plus grand nombre les avantages et les jouissances utiles qui n'étaient, dans les siècles précédents, que l'apanage privilégié des personnes favorisées de la fortune.



On peut déposer par la pile le cuivre en couche mince, et au lieu du fort dépôt que donne la galvanoplastie, quand il s'agit de reproduire des objets entiers, précipiter seulement une légère enveloppe de cuivre pur.

Une intéressante application du *cuvrage galvanique*, c'est le cuivrage des candélabres à gaz, qui s'exécute sur tous les candélabres destinés à l'éclairage des rues de Paris. Ces candélabres sont en fonte. Pour les préserver de l'oxydation à laquelle ils seraient exposés, on les recouvre par la pile d'une couche de cuivre.

L'opération se fait dans l'usine de M. Oudry, à Auteuil (fig. 313). Le candélabre en fonte est introduit dans une vaste cuve de bois, qui contient une dissolution de sulfate de cuivre. Pour réduire l'oxyde de cuivre de ce sel, on place à l'intérieur du liquide un certain nombre de couples de piles de Bunsen, formées d'une lame de zinc plongeant dans l'acide sulfurique étendu d'eau. Le courant électrique qui se dégage de ces couples traverse le bain, décompose le sel métallique et en sépare le cuivre, qui se dépose sur la fonte.

Comme la liqueur s'épuiserait promptement par la précipitation du cuivre, on maintient le bain saturé de sel en y entretenant du sulfate de cuivre en cristaux contenus dans un sac.

Le cuivre se dépose avec lenteur et recouvre la fonte du candélabre. Au bout de huit jours, il forme une couche résistante, qui a près de 2 millimètres d'épaisseur. Alors on retire la pièce du bain, et on lui donne, avec une composition spéciale, cette couleur de bronze que tout le monde connaît et qui est plus agréable aux yeux que celle du cuivre pur.

L'or, l'argent et le cuivre ne sont pas les seuls métaux que l'électro-chimie permette de déposer, en couche mince, sur un autre métal. Au moyen de dissolutions salines convenables, on peut précipiter divers métaux les uns sur les autres. On peut obtenir de cette manière le dépôt du platine, du plomb, du cobalt, du nickel, etc., sur d'autres métaux.

A l'exception de ceux de nickel, ces dépôts n'ont pas été faits jusqu'ici sur une grande échelle, parce que l'utilité du *platinage*, *zingage*, *plombage*, etc., ne s'est pas manifestée



Fig. 313. Atelier pour le cuivrage galvanique des candélabres à gaz.

dans] les arts ou dans l'industrie; mais les dépôts de nickel ont aujourd'hui acquis une grande importance.

Le nickel déposé en couche mince par la pile est très employé comme moyen d'ornement et de défense des métaux. C'est par la pile et en agissant sur les sels de nickel solubles, que l'on obtient, suivant le procédé de M. Adams, les revêtements de nickel qui se voient en si grand nombre sur les machines, les meubles, les outils, etc., et qui, tout en leur donnant l'aspect de l'argent, les préservent de l'oxydation.



XXIV

L'ART DE L'ÉCLAIRAGE

Considérations générales sur la flamme. — En quoi consiste le phénomène de la combustion. — Cause de l'éclat d'une flamme. — Histoire de l'éclairage public et privé. — Études des différentes matières consacrées aujourd'hui à l'éclairage. — ÉCLAIRAGE PAR LES CORPS GRAS SOLIDES. — La chandelle. — La bougie stéarique. — Procédés pour la préparation de l'acide stéarique et des bougies. — La saponification calcaire et la saponification sulfurique. — Quel est l'inventeur de la bougie stéarique? — ÉCLAIRAGE PAR LES CORPS GRAS LIQUIDES. — L'éclairage à l'huile. — Argand inventeur des verres de lampe et des mèches circulaires de coton. — Le quinquet. — Découverte des lampes mécaniques. — La lampe Carcel. — La lampe à modérateur. — ÉCLAIRAGE AU GAZ. — Philippe Lebon invente l'éclairage au gaz. — Murdoch et Winsor. — Préparation du gaz de l'éclairage. — Cornues. — Barillet. — Jeu d'orgue. — Colonne de coke. — Gazomètre. — Becs. — Cause de l'éclat du gaz de l'éclairage. — Le gaz portatif. — ÉCLAIRAGE PAR LES HYDROCARBURES LIQUIDES. — L'huile de schiste. — Le pétrole. — L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE. — Le régulateur Foucault. — La bougie Jablochkoff. — La lampe Edison à incandescence de charbon. — État actuel de l'éclairage électrique. — Ses applications utiles.

L'huile brûlée dans les lampes, le suif moulé en chandelles, l'acide stéarique coulé en bougies, le gaz fourni par la décomposition de la houille, enfin des liquides combustibles connus sous le nom d'*hydrocarbures*, tels sont les divers produits qui servent à l'éclairage, public ou privé. Avant d'examiner ces diverses sources lumineuses, nous considérerons, à un point de vue général, la question de l'éclairage, en portant notre attention sur l'étude physique et chimique de la *flamme*, dans laquelle réside toute puissance éclairante.

Qu'est-ce que la flamme ? On la caractérise, au point de vue

chimique, en disant que c'est *un gaz chauffé jusqu'au point de devenir lumineux*. Tous les corps, quel que soit leur état physique, deviennent lumineux, c'est-à-dire sont en *ignition*, quand ils sont portés et maintenus à une température suffisante. Quand un gaz est fortement chauffé, il rougit; d'invisible qu'il était, il devient visible et lumineux. Il constitue alors la *flamme*.

La température rouge des corps gazeux, c'est-à-dire celle de la flamme, est supérieure à la chaleur blanche des corps solides. Ce qui le prouve, c'est que si l'on approche de la flamme d'une lampe un fil de platine ou d'amiante, ce fil rougit avant de toucher la flamme. Si l'on fait rougir par la chaleur un tube de verre, et qu'on fasse passer un courant d'air à travers ce tube, l'air ne rougit point; mais si l'on projette alors de petits corps solides dans cet air obscur, ces corps solides deviennent incandescents, ce qui prouve que le degré de chaleur qui suffit pour produire l'incandescence d'un corps solide ne peut produire l'incandescence d'un gaz, et que la température de la flamme est supérieure à la chaleur blanche des corps solides.

La lumière étant le résultat de l'accumulation du calorique, il semble, *à priori*, que plus un gaz développe de chaleur en brûlant, plus il doit être lumineux; en d'autres termes, on penserait qu'une flamme doit être d'autant plus éclairante qu'elle est plus chaude. L'expérience prouve néanmoins que cette relation n'est pas fondée. Ce qui produit surtout l'éclat d'une flamme, c'est le dépôt, fait dans son intérieur, de petits corps solides. Dans ce cas, les corps solides devenant lumineux ajoutent leur propre éclat à celui de la flamme. Citons quelques faits à l'appui de ce principe.

L'hydrogène est de tous les gaz celui qui développe, en brûlant, la plus grande quantité de chaleur; cependant la flamme du gaz hydrogène est à peine visible. Cela tient à ce que le produit de la combustion du gaz hydrogène est la vapeur d'eau, substance non solide. L'alcool produit, en brûlant, une température excessivement élevée; cependant la flamme de l'alcool est fort pâle. C'est que, durant sa combustion, son hydrogène et son carbone brûlent sans laisser de résidu solide, car ils ne donnent que de l'eau et du gaz acide carbonique. Au contraire, l'éther sulfurique brûle

avec une flamme éclatante, parce qu'il renferme plus de carbone que l'alcool, et qu'une partie du carbone non brûlé se dépose à l'intérieur de la flamme. Si le phosphore répand, en brûlant à l'air, un éclat extraordinaire, c'est que le produit de sa combustion est un corps solide et non volatil : l'acide phosphorique. Le zinc, comme le phosphore, brûle à l'air avec un éclat éblouissant, parce que le produit de sa combustion est un corps solide et non volatil : l'oxyde de zinc. Le gaz de l'éclairage est très lumineux, parce qu'il renferme beaucoup de carbone, et qu'une portion de ce carbone se dépose dans la flamme. Au contraire, l'oxyde de carbone brûle avec une flamme très pâle, parce que tout le carbone qu'il renferme disparaît pendant sa combustion.

Tous ces exemples prouvent que l'éclat d'une flamme ne dépend pas uniquement de sa température, mais bien de petits corps solides qui se déposent dans le gaz en ignition.

Dans une flamme, ce n'est guère que la surface extérieure du gaz qui est en ignition ; le reste du corps gazeux est peu échauffé.

Il y a dans une flamme trois espaces, trois zones, qui diffèrent par leur température.

La zone intérieure, A (fig. 314), est tout à fait obscure ; elle se compose des gaz ou des vapeurs du corps gras qui échappent à la combustion, parce que les gaz étant mauvais conducteurs du calorique, la chaleur de la zone extérieure ne pénètre pas jusqu'à cette couche. C'est pour cela que la zone intérieure, A, est obscure et à peine chaude. Ce qui le prouve, c'est que si l'on introduit dans l'intérieur de cet espace un peu de poudre à canon (au moyen d'une mince cuiller de fer fermée par un petit couvercle, que l'on retire après l'introduction de la poudre au milieu de la flamme), cette poudre s'y maintient sans prendre feu.

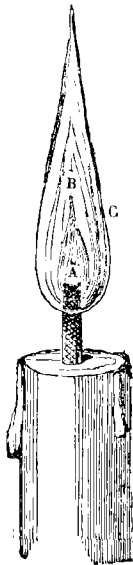


Fig. 314. Flamme d'une bougie.

La zone extérieure, C, est celle qui jouit de la température la plus élevée. C'est, en effet, la partie qui se trouve de toutes parts en contact avec l'air, et qui, par conséquent, subit une combustion complète. Ici, la température est très élevée, mais le pouvoir éclairant est

faible, parce que tout le carbone est brûlé, et qu'il ne se dépose au milieu de la flamme aucun corps solide qui puisse ajouter à son éclat.

La zone moyenne, B, est moins chaude que la zone extérieure, C, parce que l'air n'y pénètre qu'en partie, et que la combustion est incomplète; mais son pouvoir éclairant est considérable, parce que, en raison même de cette combustion incomplète, un corps solide, c'est-à-dire le carbone, se dépose dans cette partie de la flamme, et la rend lumineuse.

D'où provient la forme conique que présentent toutes les flammes? De ce que le corps qui brûle est un gaz, ou une vapeur combustible s'échappant du corps gras. Le gaz qui, en se dégageant du combustible, traverse la zone enflammée, brûle en ce point, tout en continuant à s'élever dans l'air; mais, à mesure qu'il s'élève, la combustion qu'il subit diminue à chaque instant sa masse. Cette espèce de cylindre de vapeurs combustibles se réduit donc de plus en plus, à mesure qu'il brûle; son diamètre diminue sans cesse, jusqu'à ce qu'il devienne nul. De là la forme conique que présentent les flammes.

Si l'on tient une cloche de verre, ou un verre à boire, au-dessus d'une flamme, de celle d'une lampe, d'une bougie, du gaz de l'éclairage, etc., on s'aperçoit bientôt que les parois intérieures du vase se recouvrent d'eau liquide. Cela tient à ce que les produits de la combustion des matières qui servent à nous éclairer sont l'acide carbonique et l'eau. Dans cette expérience, l'acide carbonique, corps gazeux, se répand dans l'air, sans laisser de traces; mais la vapeur d'eau, rencontrant un corps froid, s'y condense, et produit, à la surface intérieure du vase de verre, les gouttelettes observées.

Diverses substances communiquent à la flamme une couleur particulière : les sels de strontiane la colorent en rouge, les sels de cuivre en bleu, les sels de baryte en jaune verdâtre, l'acide borique en vert. C'est en mêlant aux pièces d'artifice des sels de strontiane, de cuivre, etc., que l'on produit des feux colorés rouges, bleus, etc. L'habileté de l'artificier consiste dans l'emploi judicieux de ces sels pour colorer diversement les flammes.

Une flamme est fumeuse quand les vapeurs combustibles se dégagent sans être entièrement consumées. Cet inconvé-

nient se présente surtout avec la chandelle et les lampes mal construites. La chandelle fume parce que la mèche, transformée en une masse volumineuse de charbon, demeure à l'intérieur de la flamme. Ce gros corps étranger, interposé dans la flamme, en abaisse incessamment la température ; dès lors les vapeurs du corps gras ne sont pas entièrement brûlées. La fumée qui apparaît résulte de cette combustion incomplète. Les lampes munies d'une cheminée de verre deviennent fumeuses si le courant d'air provoqué par le verre est insuffisant pour produire l'entière combustion du corps gras.

Après ces vues générales sur la flamme, au point de vue chimique, nous allons jeter un rapide coup d'œil historique sur les divers moyens d'éclairage dont on a fait usage depuis les temps anciens jusqu'à nos jours.

Une branche de bois résineux, c'est-à-dire une torche, fut le premier moyen dont l'homme fit usage pour s'éclairer. Aujourd'hui encore, chez différentes peuplades sauvages, la combustion des bois résineux est le seul moyen qui serve à se procurer de la lumière.

Dans la civilisation ancienne, l'huile et la cire furent les premières substances consacrées à l'éclairage. Les Indiens, tous les habitants de la haute Asie, les Égyptiens et les Hébreux, ont fait usage, dès la plus haute antiquité, de *lampes* servant à brûler de l'huile.

On possède des exemplaires d'un nombre considérable, et de formes très variées, de lampes provenant des Indiens, des Égyptiens, des Grecs et des Romains. Tous ces appareils étaient fondés sur le même principe : la combustion de l'huile au moyen d'une mèche de coton plongeant dans ce liquide. L'huile s'élevait le long de la mèche, par l'effet de la force connue sous le nom de *capillarité*. Mais la flamme de ces lampes était toujours rougeâtre et fumeuse, en raison de la quantité insuffisante d'air qui alimentait la combustion de l'huile.

L'application à l'éclairage du suif, c'est-à-dire de la graisse qui s'accumule autour d'un tube intestinal, chez le mouton et le bœuf, ne remonte pas à une date ancienne. Les chandelles de suif furent employées pour la première fois, en Angleterre, au douzième siècle. On n'en fit usage en France qu'en 1370, sous Charles V.

À partir du quinzième siècle la chandelle devint d'un usage général en Europe. Le palais des rois, comme la chaumière du paysan, s'éclairaient au moyen de la fumeuse chandelle.

Cependant, dans le midi de la France, en Espagne, en Italie, etc., la lampe continua d'être employée, en raison de l'abondance et du bas prix de l'huile.

En France, la première ordonnance relative à l'éclairage fut rendue par Charles VII. Chaque bourgeois de Paris devait, après neuf heures du soir, suspendre à la porte de sa maison une lanterne, avec une chandelle allumée. Mais la dépense du luminaire empêcha d'observer l'ordonnance royale. François I^{er} la fit revivre. De plus, un service de gardiens de nuit fut organisé dans les rues de la capitale.

Les lanternes suspendues à des poteaux et placées dans les rues des grandes villes furent mises en usage à la fin du seizième siècle.

Sous Louis XIV s'organisa, à Paris, une compagnie de porte-flambeaux, pour accompagner les habitants attardés dans les rues.

En 1657, La Reynie, lieutenant de police, créa l'éclairage public de Paris. Dans toutes les rues et sur toutes les places, des lanternes munies de chandelles furent établies, aux frais des citadins.

C'est en 1750 que furent inventés les *réverbères*, destinés à l'éclairage des rues au moyen de lampes à huile.

L'éclairage par les corps gras liquides, c'est-à-dire au moyen des lampes à huile, n'avait pas fait le plus léger progrès depuis l'origine des sociétés jusqu'à la fin du dernier siècle, lorsque, en 1780, un physicien de Genève, Argand, inventa la cheminée de verre et les mèches circulaires de coton. Grâce à cette disposition remarquable et toute nouvelle, la combustion de l'huile était parfaite et donnait le plus vif éclat possible, en raison de l'afflux considérable d'air appelé autour de la flamme par la cheminée de verre.

L'admirable invention d'Argand porta tout d'un coup presque à sa perfection l'art de l'éclairage au moyen des lampes.

Le *quinquet*, c'est-à-dire la lampe à réservoir d'huile supérieur au bec, fut le premier appareil d'éclairage qui reçut l'application des cheminées de verre et des mèches circulaires.

L'éclairage au gaz fit ses débuts vers 1830. Cette nouvelle

branche de l'industrie de l'éclairage ne devait pas tarder à se développer considérablement, et à prendre la première place dans les habitudes générales.

On peut en dire autant de la bougie stéarique, qui, inaugurée vers 1832, et successivement perfectionnée, a fini par remplacer entièrement, de nos jours, l'infécté chandelle.

L'exploitation d'abondants gisements de liquides naturels composés de charbon et d'hydrogène, tels que l'huile de schiste, de naphte, de térébenthine, etc., amena, vers 1860, la création de l'éclairage par les hydrocarbures liquides, qui prit une extension immense à la suite d'un fait capital survenu en Amérique en 1863. Nous voulons parler de la découverte de sources presque intarissables d'huile de pétrole. Ce liquide fit une véritable révolution dans l'art de l'éclairage, par son bon marché et surtout par son extraordinaire puissance lumineuse.

Nous aurons terminé ce rapide historique si nous ajoutons qu'à partir de 1876, l'éclairage électrique, qui n'avait été employé jusque-là que dans de rares occasions, prit tout à coup une grande importance, grâce à la découverte de la *bougie Jablochhoff*, qui simplifie considérablement ce mode d'éclairage. Aujourd'hui, bien que les résultats laissent à désirer sous plus d'un rapport, l'éclairage électrique commence à figurer parmi les nombreux moyens dont dispose l'industrie de l'éclairage.

Nous allons maintenant étudier les différents moyens d'éclairage que nous venons de passer en revue selon l'ordre historique, c'est-à-dire traiter successivement :

- 1° De l'éclairage par les corps solides (chandelle et bougie stéarique);
- 2° De l'éclairage par les corps gras liquides (huile);
- 3° De l'éclairage par le gaz;
- 4° De l'éclairage par les hydro-carbures (huiles de schiste, et pétrole);
- 5° De l'éclairage électrique.

ÉCLAIRAGE PAR LES CORPS GRAS SOLIDES.

Nous réunissons sous le titre d'*éclairage par les corps gras solides*, l'éclairage par la chandelle et la bougie stéarique. Il

faudrait y adjoindre la cire et la paraffine, mais la bougie de cire n'est plus qu'un souvenir, et la bougie de paraffine un objet de luxe inconnu en France, et dont l'emploi est limité à l'Angleterre. Au contraire, la bougie stéarique éclaire aujourd'hui le monde entier. On la trouve depuis la loge du portier jusqu'à la mansarde, en passant par les salons des étages bourgeois intermédiaires. La chandelle persiste encore et persistera tant que l'on ne trouvera pas à la remplacer, malgré ses défauts, par une matière solide douée d'un égal pouvoir éclairant.

Chandelle. — Tout le monde sait que la chandelle est purement et simplement le *suif*, c'est-à-dire la graisse qui enveloppe l'intestin du mouton et du bœuf, graisse que l'on

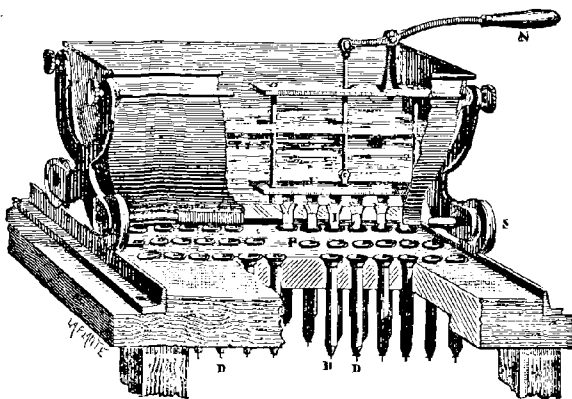


Fig. 315. Moulage des chandelles.

façonne en cylindre et que l'on fait brûler au moyen d'une mèche de coton.

Pour fabriquer les chandelles, on commence par fondre dans de grandes cuves de bois, au moyen de la vapeur, le suif acheté dans les abattoirs et purifié par une première fusion, qui l'a séparé des membranes animales. Ensuite on tend les mèches de coton à l'intérieur de moules cylindriques, qui sont en étain. Enfin on verse le suif fondu dans ces moules, à l'aide d'une cuiller ou d'un pot de fer-blanc.

Deux fabricants de Paris, MM. Leroy et Durand, sont parvenus à rendre plus rapide le moulage des chandelles en donnant aux moules d'étain la disposition représentée par la figure 315.

Le suif fondu est placé dans une caisse C, qui est mobile sur un petit rail, au moyen des galets S, S. Les moules D, D sont placés par rangées de six, sur une table de chêne. La caisse porte, à sa partie inférieure, des trous qui correspondent exactement à l'ouverture des moules. Ces trous sont fermés par de petits bouchons de métal; mais quand on veut faire couler le suif fondu dans les moules, on les soulève tous ensemble au moyen d'un levier N. Il suffit, en faisant rouler la caisse, d'amener ces trous au-dessus de l'ouverture de chaque moule, ce qui est facile au moyen d'un arrêt posé à l'extérieur. Tous les trous étant débouchés ensemble, les six moules sont remplis.

Il ne reste qu'à former le bout effilé de la chandelle. Pour cela, on rogne, avec un outil spécial, le suif à l'extrémité du cylindre, de manière à le terminer en pointe.

Après le moulage, les chandelles sont un peu jaunâtres, mais quelques semaines d'exposition à l'air et à la lumière leur donnent une parfaite blancheur.

Bougie stéarique. — Vers l'année 1832, on commença à faire usage en France, et bientôt après dans les autres parties de l'Europe, de la *bougie stéarique*. Imaginé, dans l'origine, pour servir à l'éclairage de luxe et remplacer la dispendieuse bougie de cire dans l'éclairage des salons, ce nouveau produit, fabriqué à plus bas prix, devint bientôt d'un usage général dans les ménages. Il a remplacé à la fois la bougie de cire, que l'industrie ne fabrique plus aujourd'hui, et même, dans beaucoup de cas, la chandelle, dont l'usage est si désagréable, mais que son bas prix, joint à son grand pouvoir éclairant, oblige à conserver encore.

La bougie stéarique est ainsi nommée parce qu'elle est formée essentiellement d'un acide gras qui porte le nom d'*acide stéarique*. Mais qu'est-ce que cet acide stéarique lui-même ?

L'acide stéarique n'est autre chose que le suif qui compose la chandelle, mais débarrassé, par une opération chimique, d'un composé liquide qu'il renferme : l'acide oléique, auquel le suif employé en chandelle doit tous ses inconvénients, à savoir, son extrême fusibilité, sa mollesse et sa mauvaise odeur.

Le suif peut être considéré comme la réunion de deux substances : l'une solide, l'*acide stéarique*; l'autre liquide, l'*acide oléique*. L'opération que l'on fait subir au suif, pour le

transformer en acide stéarique, se réduit à le débarrasser du produit liquide, l'acide oléique, pour le réduire à sa partie concrète, l'acide stéarique.

Ainsi débarrassé de la matière liquide qui l'accompagne dans le suif, l'acide stéarique constitue une matière sèche, peu fusible, et qui fournit un éclairage commode, propre et relativement peu dispendieux. On le brûle à l'aide d'une mèche qui n'a pas besoin d'être mouchée, car elle se mouche, pour ainsi dire, seule, grâce à un ingénieux artifice qui consiste à tisser cette mèche avec une forte torsion. Cette torsion se

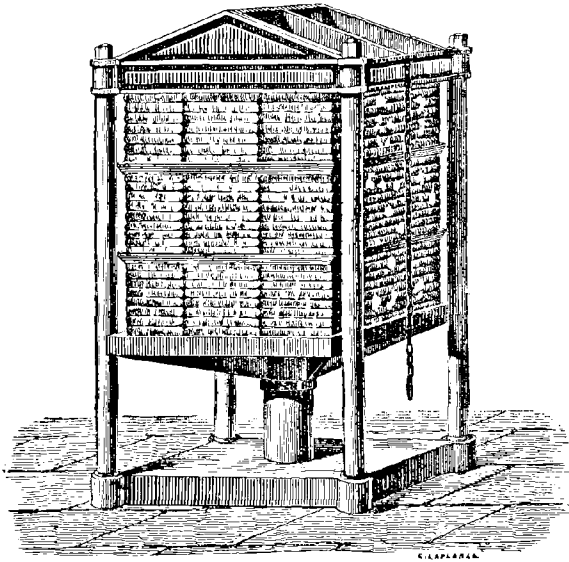


Fig. 316. Presse hydraulique pour séparer, à froid, l'acide stéarique de l'acide oléique.

détruit quand la mèche brûle; dès lors sa pointe se recourbe à l'extérieur, et là elle est entièrement détruite par la flamme, ce qui dispense de la couper, c'est-à-dire de la moucher.

La préparation de l'acide stéarique consiste à décomposer le suif par la chaux. On obtient ainsi un *savon de chaux*, c'est-à-dire un mélange d'oléate et de stéarate de chaux. Ce mélange de stéarate et d'oléate de chaux est ensuite décomposé par l'acide sulfurique étendu d'eau, qui forme du sulfate de chaux et met en liberté les acides stéarique et oléique.

Pour séparer ces deux acides, se débarrasser de l'acide

oléique liquide et ne conserver que l'acide stéarique solide, on soumet le mélange de ces deux produits, enveloppé dans une étoffe de laine, à une pression, exercée d'abord à froid, au moyen d'une presse hydraulique, comme le représente la figure 316.

Après ce pressurage à froid, on fait subir à la matière un second pressurage à chaud, qui s'effectue en chauffant par la vapeur la matière, pendant qu'elle est soumise à l'action de la presse hydraulique.

La figure ci-dessous représente la presse hydraulique em-

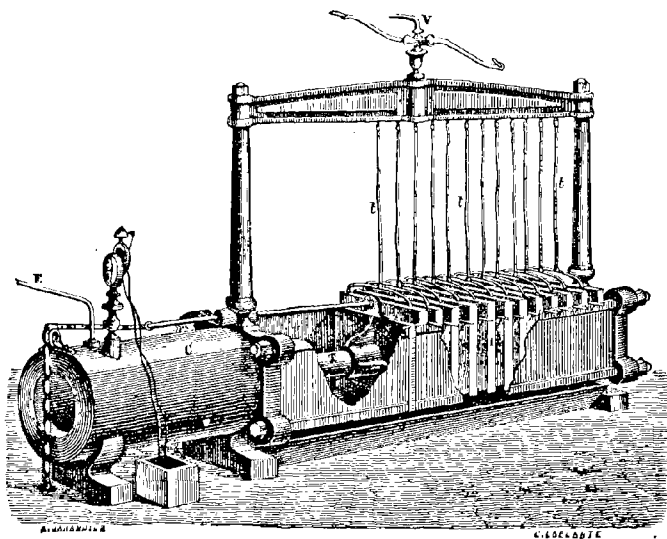


Fig. 317. — Presse hydraulique pour séparer, à chaud, l'acide stéarique de l'acide oléique.

ployée pour presser à chaud le mélange d'acides oléique et stéarique. On voit que cette presse est horizontale. L'eau à comprimer est contenue dans le grand cylindre, C. La petite colonne d'eau qui sert à comprimer celle-ci arrive par le canal E, et elle pousse, par sa pression, la tige T du piston, contre des plaques de fer creuses, I, entre lesquelles on a placé les tourteaux de corps gras. Ces plaques sont chauffées à la température de $+ 35^{\circ}$, par un courant de vapeur qui arrive par le tube à un robinet V, et suit les petits tubes *t, t*, aboutissant chacun à une plaque.

Par cette pression, aidée de la chaleur, l'acide oléique s'é-

coule, et il ne reste qu'un tourteau d'acide stéarique, sous la forme d'une masse blanche, sèche et friable:

Fondu et coulé dans des moules, à l'intérieur desquels on a tendu d'avance une mèche de coton nattée et fortement tressée, l'acide stéarique constitue la *bougie stéarique*.

Pour couler les bougies dans leur moule, on se sert toujours d'appareils mécaniques. Celui que nous avons représenté pour le moulage des chandelles (fig. 315, page 407) donne une idée suffisante des dispositions mécaniques em-

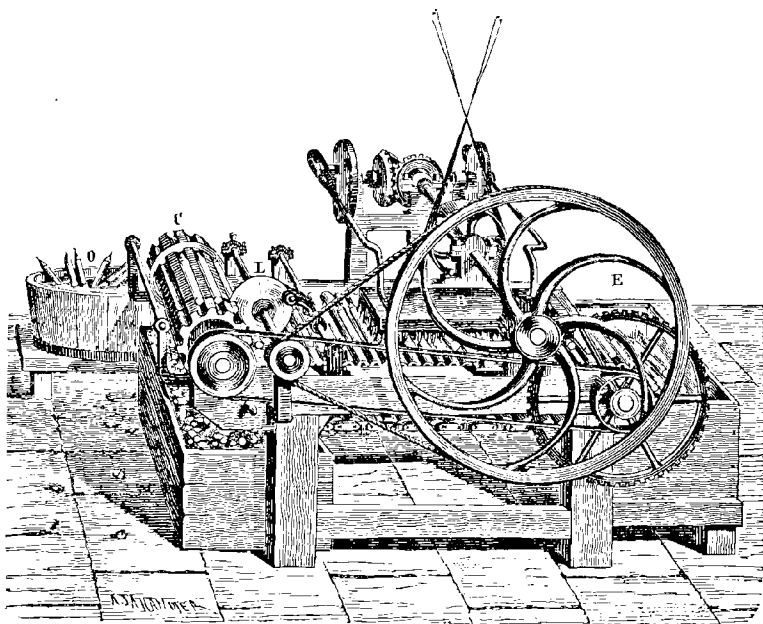


Fig. 318. Machine pour rogner et polir les bougies.

ployées pour couler chaque bougie stéarique dans son moule, pourvu d'avance d'une mèche de coton fortement tressée.

Les bougies sortant des moules sont exposées pendant quelques semaines à l'action de l'air et de la lumière, qui les blanchissent promptement.

Il ne reste plus qu'à les laver, les rogner et les polir. Une machine très remarquable, que nous représentons dans la figure 318, remplit cet office.

Lavées à la main, dans le baquet, O, qui renferme une

dissolution de carbonate de soude, les bougies sont déposées, une à une, entre les cannelures d'une roue, C, qui les amène devant une scie circulaire, L, qui les coupe à la longueur voulue. Ainsi coupées, les bougies tombent sur des rouleaux de bois posés sur une table. Alors, une brosse, B, animée d'un mouvement horizontal de va-et-vient, les polit. Elles cheminent ainsi, toujours soumises à l'action de la brosse, et arrivées au bout de la table, elles tombent dans une caisse, E, parfaitement luisantes et prêtes à être mises en paquet.

Le procédé que nous venons de décrire pour la fabrication de l'acide stéarique est le procédé par *saponification calcaire*, c'est-à-dire par la préparation d'un savon de chaux. On a substitué, de nos jours, à ce mode de traitement du suif ou des autres corps gras, la saponification par l'acide sulfurique, qui permet d'utiliser, pour les transformer en acide stéarique, des corps gras de qualité très inférieure, et par conséquent d'un prix très modique, ce qui a permis d'abaisser sensiblement le prix de la bougie.

La saponification des corps gras par l'acide sulfurique consiste à traiter ces matières par une petite quantité d'acide sulfurique, en portant le mélange à la température de $+ 90^{\circ}$. Après ce traitement, qui varie selon la nature des corps gras sur lesquels on opère, le mélange étant soumis à la distillation, les acides stéarique et oléique, qui sont volatils, distillent, et sont recueillis à peu près purs. Ils sont alors portés à la presse hydraulique, qui sépare l'acide oléique de l'acide stéarique, ainsi qu'il a été dit à propos de la saponification calcaire.

On comprendra que la saponification sulfurique ait permis de beaucoup abaisser le prix de la bougie stéarique si nous disons que les matières grasses que l'on peut consacrer, grâce à ce procédé, à fournir des acides stéarique et oléique, sont les huiles, de provenance étrangère, de palme et de coco, — les suifs extraits des os pour la fabrication du noir animal, avant la calcination de ces os, — les graisses vertes, provenant de l'étal des bouchers et des tripiers, — les corps gras impurs et fétides retirés des eaux savonneuses ayant servi au désuintage et au dégraissage des laines, — les résidus gras des cuisines, etc., etc.

La saponification calcaire est aujourd'hui réservée au suif

pur, et la saponification sulfurique au traitement des corps gras d'une grande impureté.

Nous ne terminerons pas ce qui concerne la bougie stéarique sans signaler les noms des savants auxquels on doit la découverte des *acides gras*, ainsi que les noms des industriels qui ont rendu facile et pratique la fabrication de la bougie avec les acides gras.

Il y a eu deux phases différentes dans la série de travaux qui ont doté l'industrie et l'économie domestique du produit qui nous occupe. Dans la première, la science a dévoilé la véritable composition des matières grasses, et par conséquent celle du suif, et démontré la présence, dans tous les corps gras, de deux matières différentes, l'une solide et l'autre liquide. Dans la seconde période, on a transporté dans la pratique et dans l'industrie cette découverte de la science ; on l'a appliquée à la transformation du suif en bougie sèche.

L'opération de la saponification a pour but d'opérer la séparation de l'acide oléique d'avec les acides solides du corps gras. Ces acides gras sont tous unis par l'intermédiaire d'un corps particulier, la glycérine ; celle-ci une fois enlevée par l'opération de la saponification et par les lavages, les acides gras ne sont plus en combinaison, mais simplement mélangés. Voilà pourquoi l'action de la presse suffit alors pour en opérer la séparation, en laissant écouler l'acide gras liquide, c'est-à-dire l'acide oléique, et laissant le produit solide, l'acide stéarique.

C'est un chimiste de Nancy, Braconnot, qui constata le premier ce fait général, que tous les corps gras, sans exception, se composent de deux principes immédiats, l'un solide et l'autre liquide, dont la prédominance relative dans un corps gras quelconque lui communique la consistance solide, demi-fluide ou liquide. Un autre chimiste, M. Chevreul, fit connaître ensuite les modifications que les corps gras éprouvent par l'action des alcalis, et prouva que la formation des acides gras est une des conséquences de l'action exercée par les alcalis sur les matières grasses.

C'est en 1813 que les acides margarique, stéarique et oléique, ainsi que l'élimination de la glycérine pendant la saponification, furent découverts par M. Chevreul.

L'application des acides gras à l'éclairage et la production manufacturière de la bougie stéarique sont dues à M. de Milly,

qui commença en 1831 cette fabrication, et la propagea ensuite dans toute l'Europe.

Le nom de *bougie de l'Étoile*, par lequel on désigne encore quelquefois la bougie stéarique, provient de ce que la première usine de M. de Milly était située à Paris, près de la barrière de l'Étoile; et cette barrière tirait elle-même son nom du *château de l'Étoile*, qui existait dans son voisinage.

L'ÉCLAIRAGE PAR LES CORPS GRAS LIQUIDES.

Nous entendons par les mots *éclairage par les corps gras liquides* l'éclairage au moyen des huiles fixes, car les *hydrocarbures*, dont nous aurons à parler plus loin, sont bien des liquides éclairants, mais non des corps gras, puisqu'ils sont composés d'huiles essentielles volatiles.

Nous avons insisté, dans la partie historique de ce chapitre, sur la révolution que produisit dans l'art de l'éclairage par les huiles l'invention faite par Argand, en 1780, des cheminées de verre et des mèches circulaires en coton.

Le *quinquet* fut, avons-nous dit, le premier appareil d'éclairage qui reçut l'application des cheminées de verre et des mèches circulaires inventées par Argand.

Le *quinquet*, qui porte le nom de son inventeur, Quinquet, pharmacien à Paris, est une invention fort ingénieuse pour amener l'huile au bec, au fur et à mesure de la combustion du liquide. Le *quinquet* n'est autre chose que ce que les physiciens appellent *vase de Mariotte*, ou *vase à niveau constant*.

Quand le niveau de l'huile vient à baisser, par les progrès de la combustion, dans le réservoir, A (fig. 319), et que la pression atmosphérique a ainsi diminué dans cet espace, un peu d'air s'introduit au-dessus de l'huile, en soulevant une petite soupape, placée au bas du réservoir, et traversant l'huile, de bas en haut. L'air ainsi introduit dans le réservoir y rétablit l'éga-

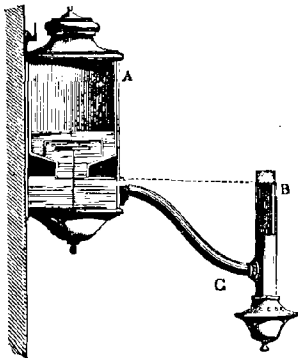


Fig. 319. — Le quinquet (coupe verticale).

lité de pression atmosphérique, et pour reprendre son niveau une nouvelle quantité d'huile passe, par le tube C, dans le tuyau B. C'est ainsi que l'huile afflue toujours dans le tube B, c'est-à-dire au bec de la lampe.

Dans le quinquet et les autres lampes construites sur le principe du *vase de Mariotte*, ou à *niveau constant*, le réservoir d'huile est, comme on le voit, placé à un niveau supérieur au bec où s'effectue la combustion. Cette disposition avait l'inconvénient de projeter une ombre, provenant du réservoir, qui était disposé latéralement. Divers essais furent entrepris, au début de notre siècle, pour faire disparaître ce grave défaut. Le problème avait été jusque-là assez imparfaitement résolu, lorsque Carcel, horloger de Paris, inventa, en 1800, l'admirable lampe qui porte son nom.

Pour éviter toute projection d'ombre, éclairer circulairement toutes les parties d'un appartement, et en même temps, pour alimenter d'huile d'une manière continue la mèche où s'accomplit la combustion, Carcel plaça le réservoir d'huile à la partie inférieure de la lampe, et provoqua l'ascension constante de l'huile par un mécanisme d'horlogerie qui, faisant mouvoir une petite pompe foulante, élevait l'huile dans un tube vertical, et la conduisait jusqu'au bec. On tendait, au moyen d'une clef, le ressort du mouvement d'horlogerie.

La lampe Carcel est la seule parfaite de toutes les lampes mécaniques. Elle est encore fort en usage de nos jours et n'a reçu, depuis Carcel, que des perfectionnements très secondaires.

Carcel est mort en 1812, sans avoir retiré de bénéfices de son importante invention.

La *lampe à modérateur* (fig. 320) a été imaginée en 1836, par Franchot, mécanicien français. C'est une lampe plus économique que celle de Carcel, mais qui lui est bien inférieure sous le rapport de la sûreté et de la durée du mécanisme. Dans cette lampe, en usage aujourd'hui dans le monde entier, en raison de son bas prix, le mouvement d'horlogerie de la lampe Carcel est remplacé par un simple ressort à boudin, que l'on tend au moyen d'une clef. Un piston est attaché à la partie supérieure du ressort à boudin; par la détente de ce ressort le piston descend et exerce une pression sur l'huile, ce qui force l'huile de s'élever dans l'intérieur d'un tube vertical qui plonge dans le réservoir et aboutit au bec où la combustion s'effectue.

Le nom de *lampe à modérateur* a été donné à cet appareil parce qu'il existe, dans l'intérieur du tube d'ascension de l'huile, une tige métallique qui suit les mouvements du piston, et qui, selon la hauteur qu'elle occupe dans l'intérieur de ce tube d'ascension, obstrue plus ou moins son calibre. Cette tige, A, occupant, comme le montre la figure 321, l'intérieur du canal BB, qui est le tube d'ascension de l'huile, a pour effet de rendre régulière et uniforme l'ascension du liquide.

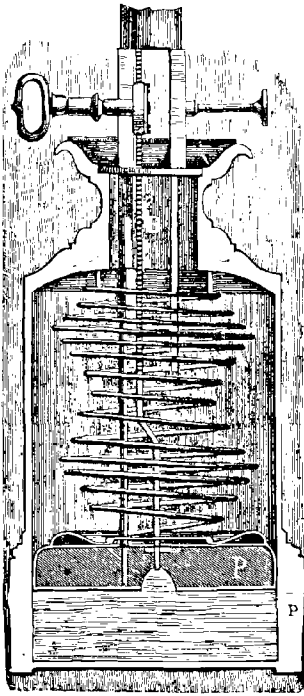


Fig. 320. Coupe verticale de la lampe à modérateur.

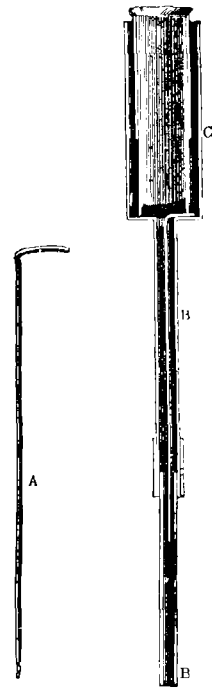


Fig. 321. Tige et coupe verticale du canal contenant le modérateur.

Il faut considérer, en effet, que la détente du ressort à boudin n'est pas uniforme. Ce mouvement décroît d'intensité, comme celui de tous les ressorts, à mesure qu'il arrive à sa fin. La tige métallique, ou *modérateur*, A (fig. 321), est, comme nous venons de le dire, fixée au piston P (fig. 320), et par conséquent le suit dans tous ses mouvements. Au début, c'est-à-dire pendant les premiers temps de la détente du ressort, cette tige A remplit presque toute la capacité intérieure du tube

d'ascension de l'huile, BB (fig. 321), et dès lors oppose au passage du liquide dans ce tube B, un obstacle qui a pour résultat de diminuer la quantité d'huile portée à la mèche. Mais à mesure que le piston descend, cette tige, qui descend avec lui, laisse au passage de l'huile un espace qui devient progressivement plus grand, et permet l'arrivée d'une quantité d'huile de plus en plus considérable au bec de la lampe, C, et par suite à la mèche.

Ainsi, l'abaissement progressif de cette tige dans l'intérieur du tube d'ascension, dont elle occupait d'abord presque toute la capacité, a pour résultat de compenser l'affaiblissement que subit la force du ressort moteur à mesure qu'il se détend, puisque l'abaissement de cette tige augmente progressivement le volume du conduit qui donne accès à l'huile. C'est donc à juste titre que cette tige métallique porte le nom de *compensateur*, ou de *modérateur*.

ÉCLAIRAGE AU GAZ.

C'est vers l'année 1820 que se répandit et commença à se généraliser en France un système nouveau d'éclairage qui devait bientôt produire une révolution complète dans les habitudes du public, réaliser une grande économie dans l'emploi des combustibles éclairants, et ajouter au bien-être de tous, en répandant à profusion et à bon marché une lumière pure et éclatante.

Quelques détails historiques sur l'origine et les progrès de l'éclairage au gaz ne seront pas sans intérêt.

Bien que les débuts de ce mode d'éclairage ne datent, en France, que de l'année 1820, on avait fait avant cette époque, dans la même direction, quelques tentatives, que nous devons faire connaître.

On savait, dès la fin du dix-huitième siècle, que la houille, quand on la soumet, dans un vase fermé, à l'action de la chaleur rouge, laisse dégager un gaz susceptible de s'enflammer. Mais jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, on n'avait tiré aucun parti de cette observation. En 1786, un ingénieur français, Philippe Lebon, né vers 1765, à Brachet (Haute-Marne), eut l'idée de faire servir à l'éclairage les gaz provenant de la distillation du bois, gaz inflammables et qui sont doués d'un certain pouvoir éclairant.

En 1789, Philippe Lebon prit un brevet d'invention pour un appareil qu'il nommait *thermolampe, ou poêle qui chauffe et éclaire avec économie*. Pour obtenir le gaz, il plaçait dans une grande caisse métallique des bûches de bois, qu'il soumettait à une haute température. Le bois, en se décomposant, donnait naissance à des gaz inflammables, à des matières empyreumatiques, à du vinaigre et à de l'eau. La chaleur du fourneau servait à décomposer le bois, et le gaz produit par la décomposition du bois était consacré à l'éclairage.

C'est au Havre que Lebon tenta d'établir ses premiers *thermo-*

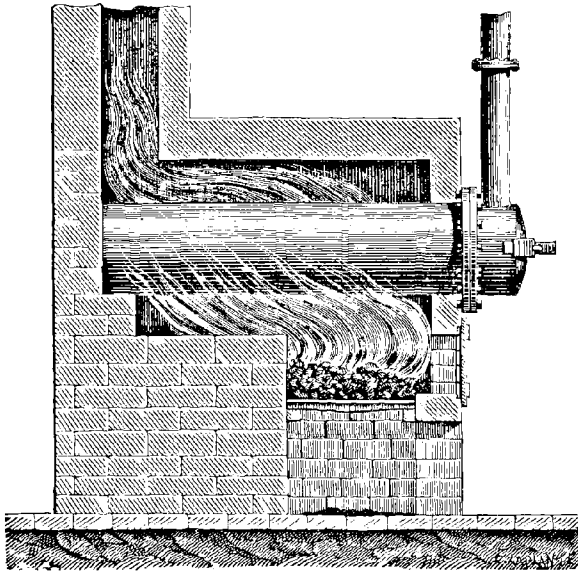


Fig. 322. Appareil de Murdoch pour distiller la houille.

lames. Mais le gaz qu'il préparait était peu éclairant, et répandait une odeur désagréable, parce qu'il n'était pas épuré. Aussi ses expériences eurent-elles peu de retentissement. Lebon revint à Paris. Pour donner au public un spécimen de ce nouveau mode d'éclairage, ses jardins et son appartement, dans la rue Saint-Dominique, furent éclairés par le gaz retiré, non plus du bois, comme il l'avait fait au Havre, mais de la houille.

Cependant le gaz était encore impur, fétide, et sa combustion donnait naissance à des produits nuisibles. Lebon fut contraint d'abandonner une entreprise qui l'avait ruiné.

En 1798, un ingénieur anglais, Murdoch, qui connaissait les

résultats obtenus à Paris par Philippe Lebon, essaya d'éclairer, au moyen du gaz retiré de la houille, le bâtiment principal de la manufacture de James Watt, à Soho, près de Birmingham.

Nous représentons dans la figure 322 l'appareil dont Murdoch se servait pour distiller la houille.

Mais Murdoch n'avait aucun moyen de purifier le gaz, qui, souillé de produits goudronneux ou sulfureux, était tout à fait impropre à l'éclairage. Aussi la tentative de Murdoch n'eut-elle aucune suite sérieuse.

En 1805 seulement, la manufacture entière de James Watt reçut ce mode d'éclairage; mais le gaz était encore fort mal épuré.

En 1804, un industriel allemand, Winsor, forma, en Angleterre, une société pour l'application à l'éclairage public du gaz extrait de la houille. C'est à l'insistance infatigable de Winsor que nous devons la vulgarisation de l'éclairage au gaz.

Winsor s'occupa d'introduire en France cette magnifique industrie. Mais il eut à soutenir de terribles luttes contre les intérêts que menaçait l'invention nouvelle. Il y succomba et se ruina.

Grâce à la protection de Louis XVIII, l'éclairage au gaz fut repris à Paris, quelques années après, et l'entreprise ne tarda pas à être couronnée de succès.

Paris commença à être éclairé au gaz en 1819.

En 1823, il existait à Londres plusieurs compagnies pour l'éclairage au gaz, déjà riches et puissantes. Celle de Winsor, protégée par le roi George III, avait posé à elle seule cinquante lieues de tuyaux conducteurs sous le pavé des rues.

On voit, en résumé, en ce qui concerne l'éclairage au gaz, que la France a eu la gloire de concevoir ce que l'Angleterre a eu le mérite d'exécuter.

L'inventeur de ce nouveau mode d'éclairage, Philippe Lebon, est mort à Paris, pauvre, presque inconnu, et sans avoir retiré le moindre avantage du fruit de ses longs efforts. La cause de sa mort est restée inconnue. Le matin du 3 décembre 1804, c'est-à-dire le lendemain de la cérémonie du sacre de l'Empereur Napoléon I^{er}, à laquelle il avait assisté, comme ingénieur des Ponts et chaussées, Philippe Lebon fut trouvé aux Champs-Élysées, percé de coups de couteau.



Le gaz de l'éclairage se compose essentiellement d'hydrogène bi-carboné, gaz qui résulte de l'union ou, comme on le dit en chimie, de la combinaison du charbon avec l'hydrogène, corps simple gazeux. Toutes les substances qui renferment une notable quantité de charbon et d'hydrogène fourniraient, si on les chauffait fortement, des gaz inflammables, doués d'un certain pouvoir éclairant. Les matières organiques très hydrogénées et très carbonées, comme l'huile, la tourbe, la résine, les graisses, pourraient donc servir à fabriquer un gaz éclairant. Mais on se sert de préférence de la houille, parce qu'elle laisse comme résidu, après sa combustion, une grande quantité d'un charbon très pur, le *coke*, dont la vente pour le chauffage couvre entièrement le prix d'achat de la houille.

Pour extraire le gaz de la houille, on place cette matière dans des cylindres de terre, nommés *cornues*, disposés, au nombre de trois ou cinq, dans un fourneau de briques, que l'on chauffe très fortement (fig. 323).

Les figures 324 et 325 représentent l'extérieur et la coupe transversale des fours qui contiennent les cornues où l'on opère la distillation de la houille.

Par l'action de la chaleur, les éléments qui constituent la houille se séparent; il se forme du goudron, des huiles empyreumatiques, des sels ammoniacaux et divers gaz. Parmi ces gaz, nous citerons : l'hydrogène pur, — l'ammoniaque, — l'hydrogène bicarboné, — l'hydrogène sulfuré, ce gaz infect dont tout le monde connaît l'odeur et qu'exhalent les œufs pourris et les fosses d'aisance ; — enfin le gaz acide carbonique, ce composé gazeux qui donne à l'eau de Seltz sa saveur piquante.

Quand il est souillé par ces divers produits, le gaz provenant de la distillation de la houille est peu éclairant; il exerce une action délétère sur nos organes; il altère la couleur des étoffes; il attaque les métaux et les peintures à base de plomb.

Ces effets fâcheux sont dus à l'ammoniaque, aux huiles empyreumatiques et surtout à l'hydrogène sulfuré, qui, en brûlant, donne du gaz acide sulfureux. Il importe donc de se débarrasser de ces derniers produits, en ne conservant que l'hydrogène bicarboné, le seul gaz qui soit d'un effet utile pour l'éclairage.

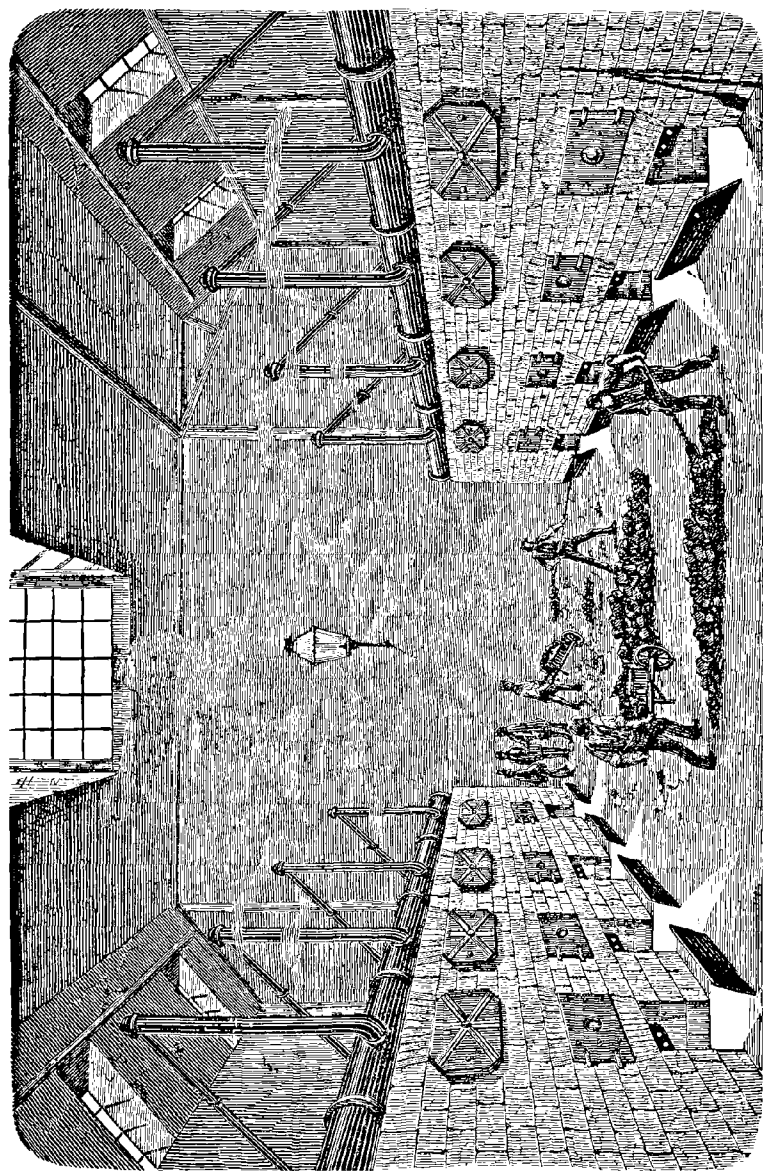


Fig. 823. Préparation du gaz de l'éclairage (fours pour la décomposition de la houille).

Pour y parvenir, on fait arriver tous les produits de la décomposition de la houille sous une couche d'eau de quelques centimètres. Cette eau est contenue dans une boîte de fonte, nommée *barillet*. Le barillet se voit au haut de la figure 324 : c'est le large conduit, I L, qui règne longitudinalement au-dessus du fourneau. Il renferme une couche d'eau qui remplit à moitié sa capacité, comme on le voit sur

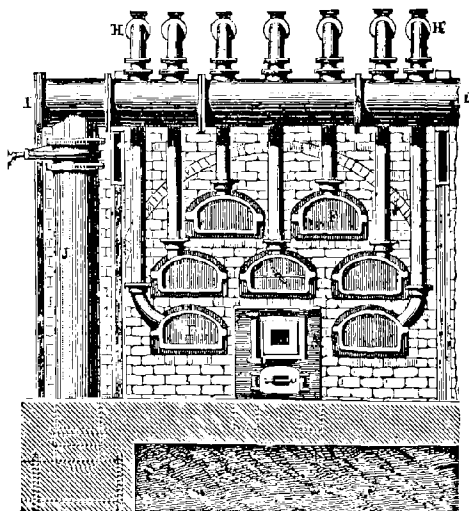


Fig. 324. Four et cornues à gaz.

J, tube conducteur du gaz. — I I, barillet. — H H, tubes pour la sortie du gaz.

la figure 325, où I représente une partie du barillet vu par

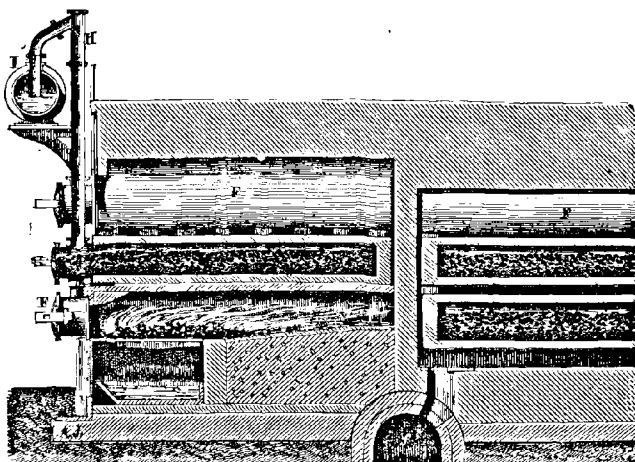


Fig. 325. Coupe verticale d'un four à gaz et coupe du barillet.

F, cornue. — H, tube conducteur du gaz. — I, barillet.

une coupe verticale, et H le tube qui amène dans le barillet le gaz sortant des cornues.

Les sels ammoniacaux se dissolvent dans l'eau du barillet, en même temps que le goudron s'y condense.

Avant de pousser plus loin l'épuration, il convient de refroidir le gaz qui arrive brûlant des cornues et qui, en cet état, se prêterait mal aux opérations de purification auxquelles il doit être soumis.

Pour le refroidir promptement on le fait passer, au sortir du *barillet*, dans une longue série de tuyaux, que l'on appelle *tuyaux d'orgue*, en raison de leur ressemblance avec les tuyaux d'orgue.

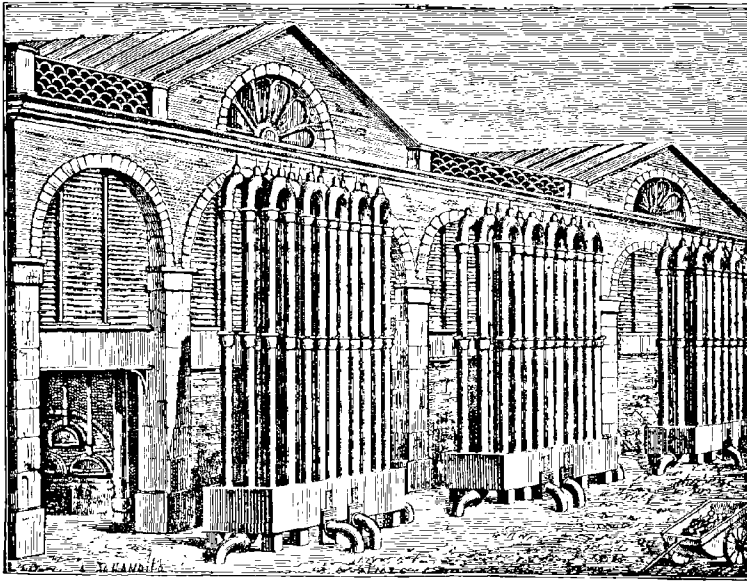


Fig. 326. Tuyaux pour le refroidissement du gaz (jeu d'orgue).

La figure ci-dessus montre les dispositions du *jeu d'orgue* que les visiteurs des usines à gaz ont remarqué, en raison de la place considérable qu'il occupe toujours.

La partie intérieure de ces tubes est ouverte et plonge dans une couche d'eau. Le gaz sort de l'un des tubes, traverse la couche d'eau et passe dans le tuyau suivant, etc. A la sortie, il est complètement froid.

Pour le débarrasser du goudron et de l'ammoniaque qu'il renferme, on le fait ensuite passer dans plusieurs colonnes remplies

de coke. Nous représentons dans la figure ci-dessous la coupe de l'une de ces colonnes.

On voit que cette colonne est remplie de morceaux de coke, à travers lesquels le gaz, obligé pour ainsi dire de filtrer, laisse les particules de goudron qu'il avait entraînées, ainsi que la petite quantité d'ammoniaque qu'il retient encore.

Pour compléter l'épuration, il reste à débarrasser le gaz de son acide carbonique et de son hydrogène sulfuré.

On le dirige dans un nouvel appareil, appelé *dépurateur*, où il traverse des tamis chargés de chaux pulvérulente et humectée d'eau. La chaux enlève au gaz l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré dont il était si important

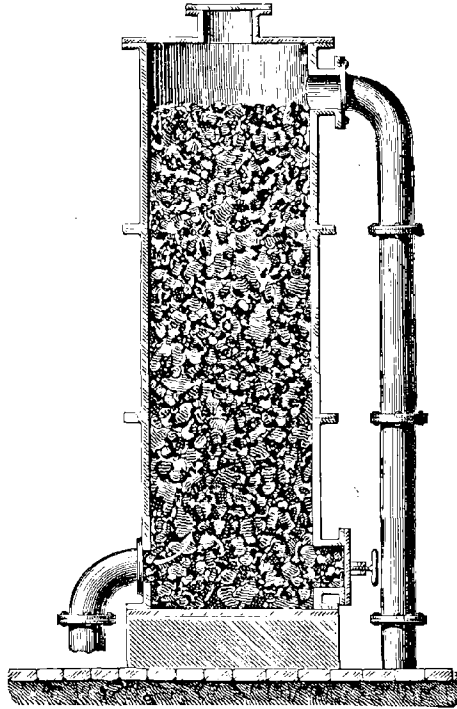


Fig. 327. Coupe d'une colonne de coke pour l'épuration du gaz.

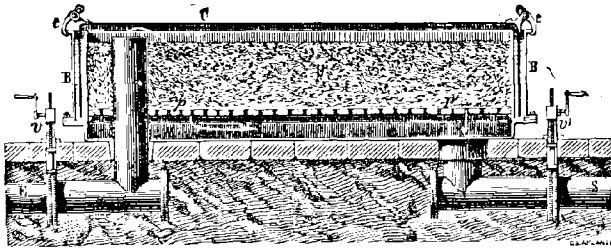


Fig. 328. Coupe verticale du *dépurateur à chaux*.

de le débarrasser. Néanmoins, l'épuration n'est jamais complète, et le gaz conserve toujours une odeur désagréable.

Nous représentons (fig. 328 et 329) le *dépurateur à chaux*

vu en coupe et en élévation. E (fig. 328) est l'entrée, S la sortie du gaz; *v v'* des valves que l'on ouvre ou que l'on ferme, pour in-

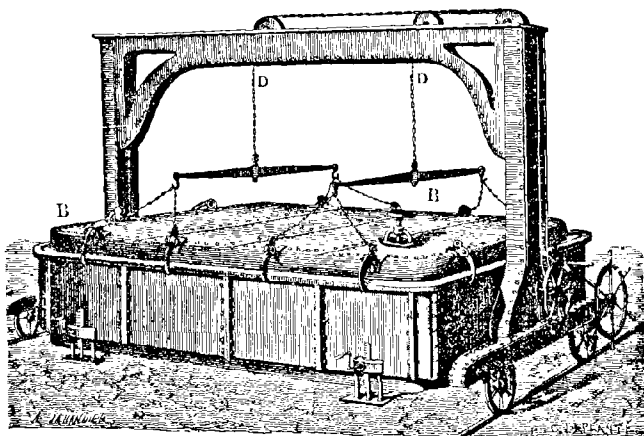


Fig. 329. Dépurateur à chaux, vue extérieure.

roduire le gaz dans les tuyaux ou pour arrêter son passage. Le couvercle C de la caisse de fer BB qui constitue le *dépurateur*

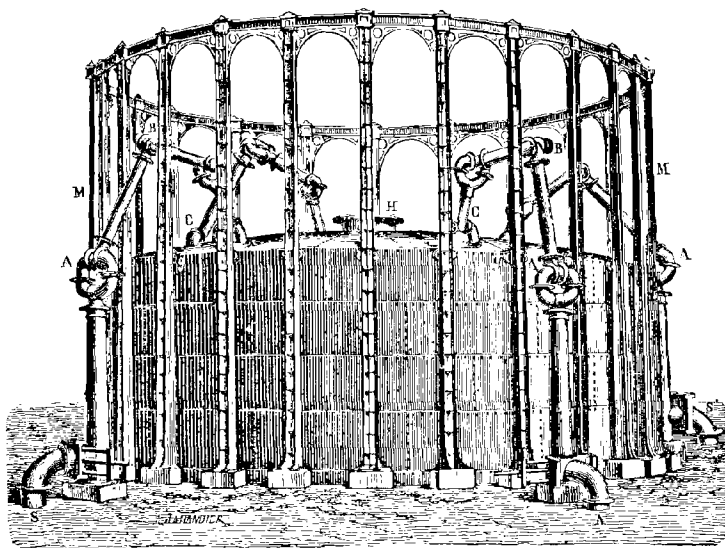


Fig. 330. Gazomètre.

(fig. 328) s'élève, au moyen d'une chaîne D D (fig. 329), que l'on tire à l'aide d'une manivelle, et qui permet de vider la

caisse quand l'épuration est terminée, afin de la remplir de nouvelle chaux et de recommencer l'opération pour de nouvelles quantités de gaz.

Purifié par les moyens que nous venons d'indiquer, le gaz est amené dans un réservoir qu'on nomme *gazomètre*.

Cet appareil se compose de deux parties : la cuve destinée à recevoir l'eau, et la cloche dans laquelle on emmagasine le gaz. Les cuves sont creusées dans le sol et revêtues d'un ciment que l'eau ne peut pénétrer. La cloche CC (fig. 330) est

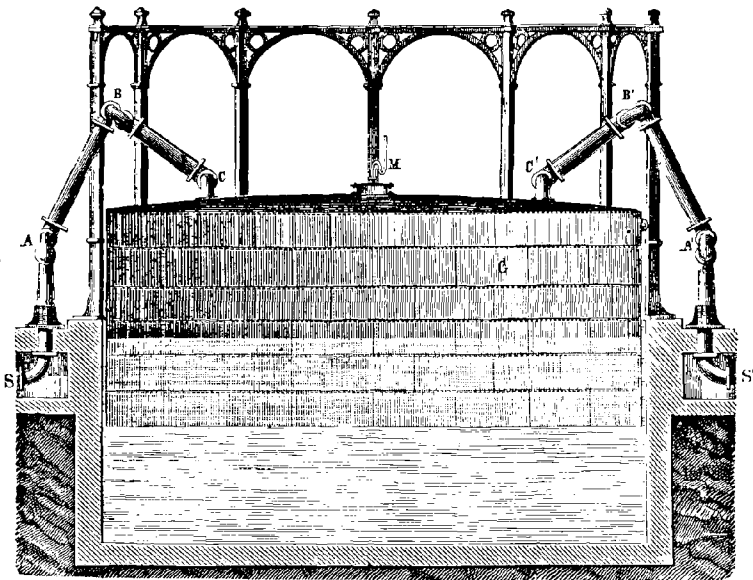


Fig. 331. Coupe verticale d'un gazomètre.

formée de plaques de très forte tôle, recouverte d'une couche épaisse de goudron. Une chaîne, adaptée au sommet de la cloche, glisse sur deux poulies, et porte, à son extrémité, des poids qui font équilibre au gazomètre. Cette dernière disposition permet à la cloche de monter et de descendre facilement dans la cuve. De cette manière, le gaz n'est passomisé à une trop forte pression, qui aurait pu provoquer des fuites ou gêner la décomposition de la houille jusque dans les cornues.

Le tube qui amène le gaz est muni d'articulations, qui lui permettent de plier selon la hauteur de la cloche. Ce mode de suspension du gazomètre, imaginé par Pauwels, est très

commode. L'un des deux tubes articulés, ABC (fig. 331), sert à l'introduction du gaz; l'autre, A'B'C', placé à l'extrémité opposée du diamètre de la cloche, sert à la sortie du gaz, quand on soulève une vanne à l'aide d'une crémaillère. Le gaz, en arrivant par le tuyau S' (fig. 331) dans la cloche, soulève la crémaillère, et dès lors l'angle que forment les tubes, A,B,C, change à mesure que la cloche s'élève. Quand le gaz s'échappe par le tuyau S', l'angle des tubes varie en sens inverse à mesure que le gaz s'écoule dans le tuyau de distribution.

La figure 332 met sous les yeux du lecteur l'ensemble des appareils qui servent à préparer le gaz de la houille. F est le fourneau contenant les cornues de terre pleines de houille soumise à l'action de la chaleur; T est la coupe verticale du *barillet*, dans lequel arrive le gaz provenant de la décomposition de la houille; B, un puits où se réunissent le goudron et les produits solubles dans l'eau, qu'a retenus le barillet; S, une série de conduits de fonte plongeant dans l'eau par leur partie inférieure, rayonnant librement dans l'air, et qui ont pour objet de refroidir le gaz qui est arrivé très chaud des cornues (c'est ce que l'on nomme le *jeu d'orgue*); D est la coupe verticale du *dépurateur* à chaux, composé d'une série de trois dépurateurs semblables que le gaz doit traverser successivement; G, le gazomètre, muni de son contrepoids, P.

A sa sortie du gazomètre, un large tuyau amène le gaz aux conduits de distribution. Ces conduits, placés sous le pavé des rues, sont en fonte. Les tubes des embranchements et ceux qui introduisent le gaz dans l'intérieur des maisons sont en plomb.

Par un petit tube conducteur qui s'embranché sur le conduit principal, le gaz est amené dans un double cylindre creux, aboutissant à une petite couronne métallique percée ordinairement de vingt trous, qui donnent issue à cent vingt ou à cent cinquante litres de gaz par heure.

Telle est la forme des *becs de gaz* dans l'intérieur des maisons. Ceux qui servent à éclairer les rues sont formés d'un petit tube épais, percé d'une fente étroite. Le gaz qui sort par cette fente s'étale en une lame mince et produit une flamme qui ressemble à l'aile d'un papillon.

On a fait pour la première fois à Paris, en 1879, l'essai

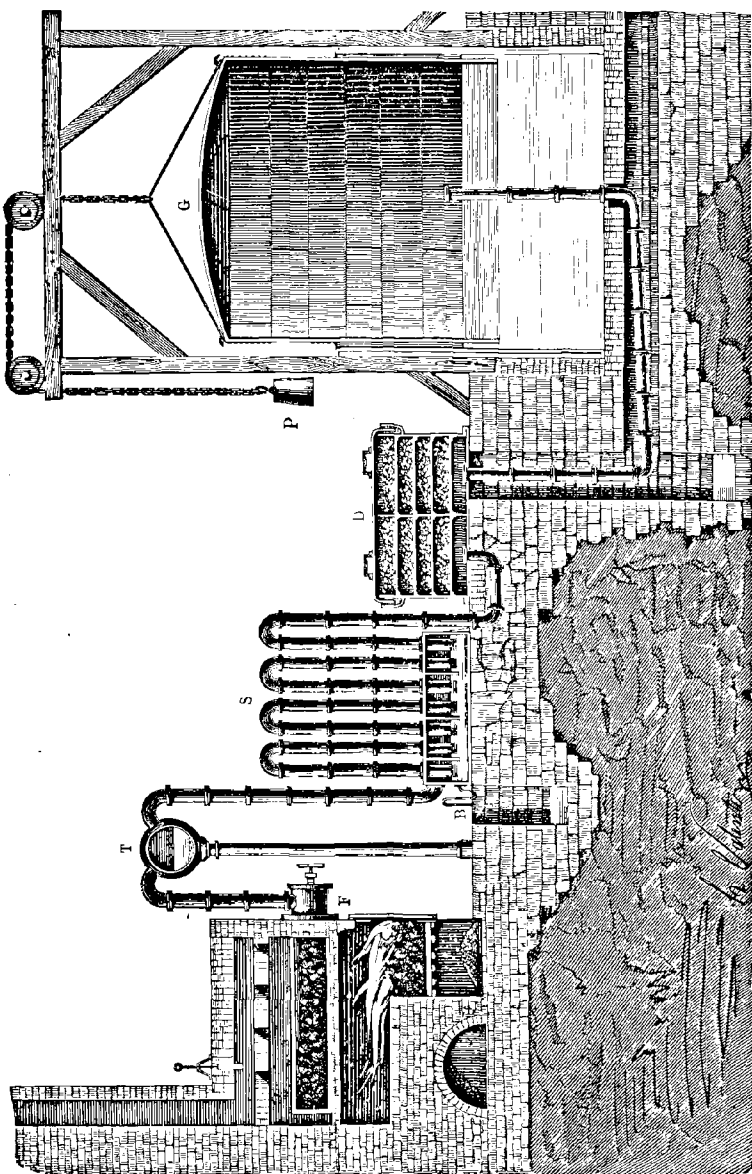


Fig. 332. Tableau de l'ensemble des opérations relatives à la préparation du gaz de l'éclairage.

d'un nouveau système de bec, qui donne une clarté beaucoup plus grande que celle d'un bec de gaz ordinaire. Les nouveaux candélabres sont surmontés d'un gros globe, au milieu duquel la lumière se produit. Le notable accroissement d'effet lumineux est obtenu au moyen d'une couronne composée de six becs, lesquels sont placés dans une sorte de coupe en cristal taillé, qui diffuse et égalise la lumière. Sur la lanterne est un chapeau métallique, qui fait l'office de réflecteur. Les becs sont placés à une hauteur de 3^m,20, et donnent chacun l'éclairage de 14 becs Carcel.

Ce nouveau système, qui porte le nom de *pot à feu*, est aujourd'hui adopté pour augmenter, quand on le désire, l'intensité de l'éclairage au gaz.

Chaque *pot à feu* n'éclaire pourtant que 188 mètres en surface.

C'est ici le lieu de donner l'explication du grand pouvoir éclairant propre au gaz de l'éclairage.

Comme nous l'avons posé en principe, au début de ce chapitre, un gaz n'est jamais éclairant par lui-même, mais bien par suite du dépôt d'un corps solide qui se fait à l'intérieur de sa flamme. Ainsi, l'hydrogène pur, en brûlant, donne une flamme très pâle et presque invisible, parce que sa combustion ne laisse aucun dépôt de matière solide, la vapeur d'eau étant le seul produit qui résulte de sa combustion. Au contraire, la flamme de l'hydrogène bi-carboné est très vive, parce que ce gaz laisse en brûlant un petit dépôt de charbon, lequel restant quelque temps contenu au sein de la flamme avant d'être brûlé, y devient lumineux, à cause de sa haute température. C'est à ce corps étranger, à ce charbon séjournant quelques instants dans la flamme, que le gaz hydrogène bi-carboné doit sa propriété lumineuse.

Par suite de ce principe on a pu employer pour l'éclairage la flamme, naturellement très pâle, de l'hydrogène pur. Il a suffi de placer au milieu du gaz hydrogène en combustion un petit corps étranger. Ce corps étranger, c'est un mince cylindre, ou *corbillon*, formé de fils de platine très fins. Ce cylindre, porté au rouge blanc, répand un éclat des plus vifs, et la flamme du gaz hydrogène est ainsi rendue très éclairante.

L'hydrogène pur, consacré à l'éclairage, s'obtient en faisant passer de la vapeur d'eau sur du charbon incandescent. L'eau

se décompose et donne naissance à du gaz hydrogène pur et à de l'acide carbonique. On absorbe le gaz acide carbonique au moyen de la chaux, pour ne laisser que l'hydrogène pur.

Ce procédé de préparation du gaz hydrogène est très simple, mais le prix de revient du gaz hydrogène pur est trop élevé pour que l'on ait pu l'adopter pour l'éclairage des villes.



On transporte quelquefois le gaz à domicile dans d'immenses voitures de tôle mince, contenant des cylindres métalliques à

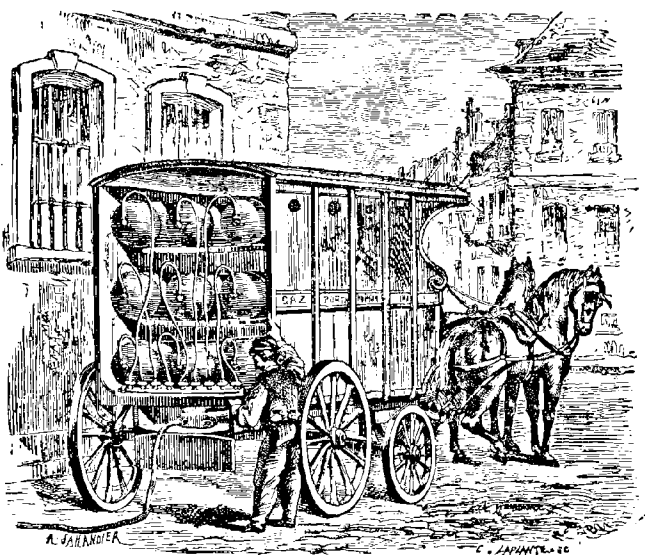


Fig. 333. Voiture pour le transport du gaz.

l'intérieur desquels le gaz est comprimé, pour qu'il occupe moins de volume. Ces cylindres sont munis d'un robinet et d'un tuyau (fig 333). Pour distribuer le gaz, on n'a qu'à ouvrir le robinet; par l'effet de sa pression seule, le gaz se rend dans le gazomètre, ou réservoir, du consommateur.

Ce mode de distribution du gaz, qui fut employé à l'époque où le réseau des conduits enfouis dans le sol était encore peu important, devient de plus en plus rare à mesure que s'étend la *canalisation*, c'est-à-dire à mesure qu'augmente le nombre des tuyaux conducteurs du gaz.

ÉCLAIRAGE PAR LES HYDROCARBURES LIQUIDES.

Le suif, les huiles végétales et le gaz peuvent être remplacés, comme agents d'éclairage, par divers liquides que l'on trouve dans la nature en assez grande abondance, et qui, formés de carbone et d'hydrogène, comme le gaz de l'éclairage, peuvent fournir un éclairage très économique, en raison de leur bas prix. L'huile essentielle qui provient de la distillation du bitume naturel connu sous le nom de schiste, ou d'asphalte, c'est-à-dire l'*huile de schiste*, — l'essence de térébenthine, que l'on obtient en distillant la résine qui découle des pins, — les huiles essentielles de naphte et de pétrole, etc., — peuvent être accommodées aux besoins de l'éclairage. Seulement, comme ces différents liquides, extrêmement riches en carbone et en hydrogène, ont besoin, pour brûler sans fumée et sans odeur, d'un courant d'air très actif, on a dû imaginer des lampes d'une disposition particulière, dans lesquelles, par un tirage convenable, on fait affluer une grande quantité d'air dans le point où s'effectue la combustion du liquide éclairant.

Huile de schiste. — De tous les hydrocarbures liquides, l'huile de schiste est, après le pétrole, le composé le plus employé aujourd'hui, parce qu'il fournit un éclairage très brillant et très économique. Son usage est répandu dans les fabriques et les ateliers; mais l'odeur que cette huile volatile dégage en brûlant l'empêche d'entrer dans l'éclairage domestique.

Il ne faut pas manquer de faire remarquer ici que l'emploi de l'huile de schiste dans l'éclairage n'est pas exempt de dangers, en raison de l'inflammabilité de ce produit. Les huiles végétales, les huiles d'olive ou de graines, ne sont pas inflammables par elles-mêmes; elles ne peuvent brûler que par l'intermédiaire d'une mèche : c'est ce qui donne une sécurité absolue pour l'emploi et le maniement de l'huile à l'intérieur de nos maisons. Au contraire, l'huile de schiste, l'essence de térébenthine mélangée d'alcool, et connue alors sous le nom de *gazogène*, s'enflamment directement par l'approche d'un corps en combustion, tel qu'une allumette. Cette fâcheuse propriété commande beaucoup de précautions et de soins dans le maniement de ces liquides. Dans les ateliers et les fabriques

éclairés à l'huile de schiste, on a la sage précaution de fixer, à demeure, les lampes contre le mur, ou de les suspendre invariablement au plafond, de manière que l'appareil d'éclairage ne puisse jamais être changé de place, car il pourrait arriver des accidents pendant son transport.

L'application de l'huile de schiste à l'éclairage est due à un fabricant français, Selligues, qui établit la première usine consacrée à la distillation des schistes, et qui imagina la lampe aujourd'hui en usage pour la combustion des hydrocarbures liquides.

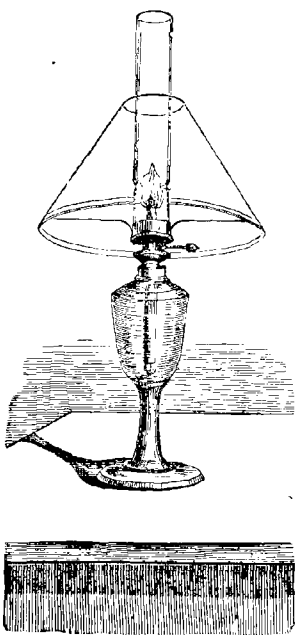


Fig. 334. Lampe à schiste.

La figure 334 représente cette lampe.

Pétrole. — Depuis l'année 1863, une véritable révolution économique a commencé pour l'éclairage privé, grâce à l'introduction en Europe du *pétrole d'Amérique*. Au-dessous du sol de diverses contrées de l'Amérique du Nord, et surtout du Canada, existent de véritables lacs d'un liquide très combustible, auquel on donne le nom de *pétrole*. Quand on a découvert un de ces gisements d'huile minérale, il suffit de percer dans la terre un trou de sonde, pour en faire jaillir une colonne continue de ce liquide.

C'est vers l'année 1858 que les gisements du pétrole furent découverts, pour la première fois, en Amérique, avec grande abondance. Comme ce liquide se prête merveilleusement à l'éclairage, on ne tarda pas à en faire usage en Amérique. Il parvint ensuite en Europe, où son bas prix le fit promptement accepter. Le pétrole a détrôné l'huile de schiste et les autres liquides combustibles pour l'éclairage des ateliers.

On brûle le pétrole au moyen d'une lampe, dite *lampe américaine*, qui diffère peu de la lampe à schiste, et que nous représentons dans la figure 335.

L'emploi du pétrole dans l'éclairage s'accompagne malheureusement de beaucoup de dangers. Le pétrole est trop facilement susceptible de s'enflammer, surtout quand on ne l'a pas soumis aux distillations répétées, qui ont pour but de débarrasser des produits très volatils qu'il renferme et que l'on désigne sous le nom d'*essence de pétrole*. Les accidents qui arrivent trop souvent dans les maisons où l'on en fait



Fig. 335. Lampe à pétrole.

usage, et la crainte de ces accidents, limitent beaucoup l'emploi de ce liquide éclairant.

Un renom sinistre s'attache au pétrole depuis l'usage qu'en ont fait les Prussiens, pendant la guerre néfaste de 1870, et les insurgés de Paris, pendant les événements, non moins néfastes, de la Commune.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Le dernier mode d'éclairage dont nous ayons à nous occuper, c'est l'éclairage électrique, c'est-à-dire l'arc lumineux ré-

sultant de la décharge d'une forte pile voltaïque, employée pour se procurer une source puissante d'illumination.

Le courant électrique, quand il s'établit entre les deux extrémités disjointes d'un fil conducteur, fait briller entre ces deux extrémités un arc d'un grand éclat lumineux. Cet arc lumineux n'est autre chose que l'étincelle électrique ayant pris un large développement, en raison de la grande masse d'électricité due à la pile très puissante dont on fait usage.

Si l'on attache deux fils métalliques aux deux pôles d'une très forte pile voltaïque en activité, et que, sans établir entre eux le contact, on maintienne l'extrémité de ces fils à une certaine distance, suffisante pour permettre la décharge électrique, c'est-à-dire la recombinaison de deux électricités contraires qui parcourent les conducteurs, il se manifeste entre les deux extrémités de ces conducteurs une vive incandescence. Cet effet lumineux provient, nous le répétons, de la neutralisation des deux électricités contraires, dont la recombinaison

développe assez de chaleur pour qu'il en résulte une apparition de lumière. Quand on emploie quarante à cinquante couples de la pile de Bunsen, l'arc lumineux présente une intensité prodigieuse.

Nous représentons ici l'arc lumineux, *c*, qui résulte du courant de la pile se recomposant à travers l'air, entre deux conducteurs, *a*, *b*, formés de deux baguettes de charbon calciné.

L'élément essentiel de la lampe *photo-électrique* se compose de deux tiges de cuivre, placées en regard, et qui communiquent avec une pile de Bunsen en activité, composée de quarante couples environ, ou avec une machine électro-magnétique.



Fig. 336.
Arc photo-électrique.

C'est entre ces deux tiges de cuivre placées à l'extrémité de deux conducteurs, c'est-à-dire aux pôles de la pile, que s'élançait l'arc lumineux provenant de la recombinaison des deux fluides. Seulement, comme la chaleur prodigieusement intense qui se développe et la présence de l'air auraient pour résultat inévitable d'oxyder promptement les tiges de cuivre qui terminent les conducteurs, on adapte à ces deux tiges de cuivre deux baguettes d'un charbon conducteur de l'élec-

tricité et très peu combustible, connu sous le nom de *charbon des cornues à gaz*. Cette matière, qui ne brûle que fort difficilement à l'air, est très commode pour servir de conducteur terminal, et c'est entre les deux pointes de charbon que s'établit l'arc lumineux éclairant.

La figure 337 représente l'élément essentiel, ou si l'on veut l'élément théorique de la lampe photo-électrique. A un support isolant, formé d'un tube de verre, *v*, sont attachées deux baguettes métalliques, *a*, *b*, qui constituent les pôles de la pile. Deux pointes de charbon conducteur de l'électricité terminent les conducteurs métalliques, *a*, *b*. Comme les charbons finissent par s'user en brûlant à l'air, par suite de la durée de l'expérience, on fait descendre, à l'aide de la poignée de bois *c*, la tige *cd* dans la coulisse *d*, et on rapproche ainsi les charbons l'un de l'autre à mesure que la combustion, usant leur pointe, aurait pour résultat d'augmenter leur écartement, et dès lors de diminuer, ou d'interrompre le courant électrique.

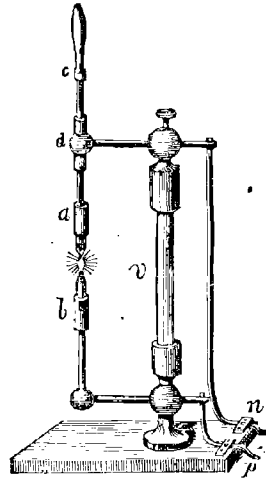


Fig. 337. Lampe électrique.

Comme on le devine sans peine, ce n'est pas tout simplement avec la main que l'on pousse les deux charbons l'un vers l'autre, au fur et à mesure de leur usure par la combustion. Un appareil remarquable, le *régulateur électro-magnétique*, inventé par le physicien Léon Foucault, rapproche automatiquement les deux charbons, quand leur usure a déterminé un certain écartement entre eux. C'est le courant électrique lui-même qui, aimantant deux petites lames de fer, et les faisant ainsi s'attirer mutuellement, converger l'une vers l'autre, rapproche les deux charbons au fur et à mesure de leur écartement par suite de leur combustion.

Le *régulateur électro-magnétique* est un instrument délicat et coûteux. En 1876, un ingénieur russe, M. Jablochhoff, parvint à le remplacer par ce que l'on nomme aujourd'hui la *bougie électrique*, disposition très ingénieuse et d'une remarquable efficacité.

M. Jablochkoff place deux baguettes de charbon parallèlement l'une à l'autre, et il les sépare par une matière isolante fusible, le plâtre ; l'extrémité des deux charbons est donc seule visible. Ces deux extrémités sont exactement comme deux mèches de bougie placées en regard l'une de l'autre. C'est entre ces deux extrémités libres que jaillit l'arc électrique. A mesure que les charbons brûlent, le plâtre fond, comme le corps gras d'une bougie ; il se volatilise, et laisse ainsi continuellement à nu la même longueur des deux charbons nécessaires à l'entretien de l'arc lumineux.

La figure 338 représente la *bougie électrique Jablochkoff*. *ad, cb*, sont les deux baguettes de charbon réunies inférieurement par un manchon, M, et séparées l'une de l'autre par une lame de plâtre, *i*.



Fig. 338.
Bougie Ja-
blochkoïf.

Les *bougies Jablochkoff* sont enfermées dans un globe de verre dépoli ou émaillé, qui a pour effet d'atténuer la trop vive lumière de l'arc électrique qui, vu directement, blesserait les yeux. Nous représentons (fig. 339), moitié en coupe, moitié en élévation, le globe de verre qui enveloppe la *bougie Jablochkoff*.

Grâce à la bougie Jablochkoff, l'éclairage par l'électricité a pris, depuis 1876, une assez grande extension. L'invention du physicien russe a donné le moyen de transporter ce mode d'éclairage dans la pratique, ce qui était impossible avec le *régulateur électro-magnétique*, appareil coûteux et sujet à des dérangements. En même temps, on a supprimé la pile voltaïque pour la production de l'électricité. Une machine à vapeur, dont le mouvement se transforme en courant électrique, grâce à la *machine électro-magnétique* de Gramme, a rendu plus facile et plus économique la production du courant voltaïque.

Ces deux perfectionnements ont permis, en 1878, pendant l'Exposition universelle, d'éclairer, à Paris, différentes places publiques et avenues par la lumière électrique. Ce mode d'éclairage a été continué en 1879 et 1880. Plusieurs villes importantes des pays étrangers, telles que Londres, New-York, Madrid, Bruxelles, etc., ont également fait

l'essai, en 1879 et 1880, de ce nouveau mode d'éclairage.

Ce n'est toutefois, disons-le, qu'à titre d'essai que l'éclairage électrique se montre en ce moment en différentes villes de l'Europe. Pour tirer parti de cette lumière avec sécurité et économie, il faudrait pouvoir affaiblir son intensité exces-

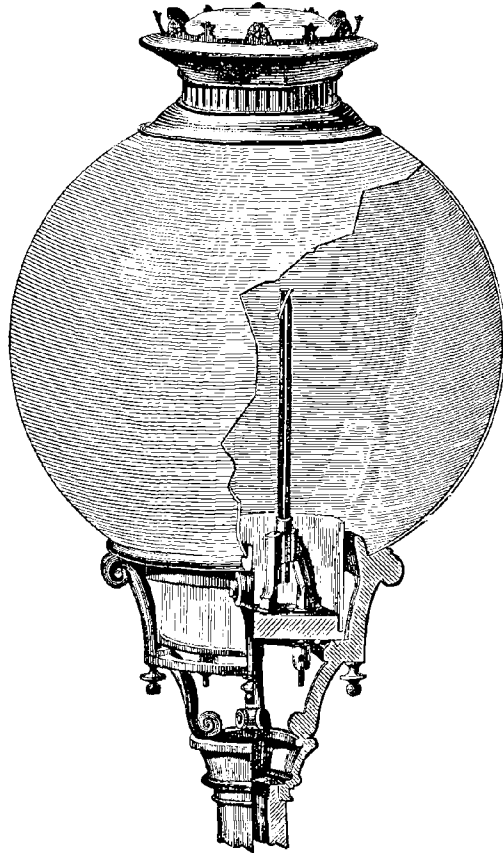


Fig. 339. Globe dépoli pour atténuer l'intensité de la lumière électrique.

sive. Il faudrait la réduire à ne fournir que le volume de lumière que donnent nos appareils ordinaires d'éclairage. Il faudrait diviser en petits flambeaux l'arc étincelant produit par le courant électrique, afin de distribuer en différents points la lumière ainsi atténuée. Malheureusement, ce résultat n'a pas encore été atteint, malgré les travaux nombreux

entrepris dans cette direction. Les appareils construits en France par M. Reynier en 1878, et à la même époque par M. Wedermann, en Angleterre, font espérer la solution du problème de la division de la lumière électrique; mais ces appareils ne sont pas encore entrés dans la pratique générale.

Pendant que les physiciens d'Europe s'efforçaient de réaliser la division de la lumière électrique en se servant de l'arc interrompu, le célèbre inventeur américain Edison s'occupait de résoudre le même problème par l'emploi de la simple

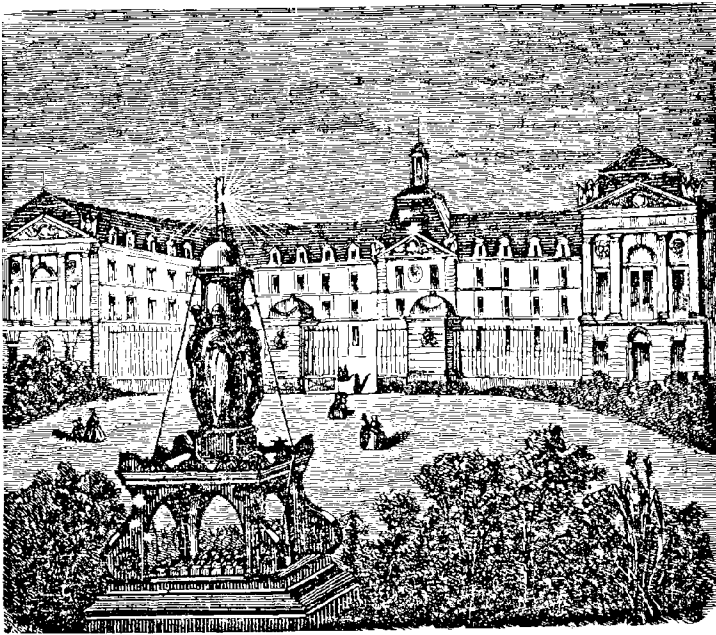


Fig. 340. Éclairage d'une place publique par la lumière électrique.

incandescence d'un conducteur parcouru sans interruption par le courant et rougissant à blanc par l'excès d'électricité qui le parcourt.

En 1878, Edison crut avoir résolu ce problème en faisant usage du platine comme conducteur; mais cet essai, n'ayant pas donné de bons résultats, fut abandonné par lui. En 1880, Edison a substitué, au platine employé comme conducteur incandescent, un simple fragment de charbon obtenu par la combustion d'un morceau de carton. Telle est la *lampe élec-*

trique d'Edison à charbon de papier. Mais, bien qu'annoncée avec grand fracas par les journaux, au commencement de l'année 1880, cette découverte n'a eu aucune suite.

En résumé, l'éclairage électrique ne sert aujourd'hui que dans certains cas spéciaux, pour lesquels rien ne saurait le remplacer, par exemple pour éclairer de très vastes places publiques (fig. 340), de grands ateliers, ou magasins, et pour effectuer pendant la nuit des travaux urgents (fig. 341).

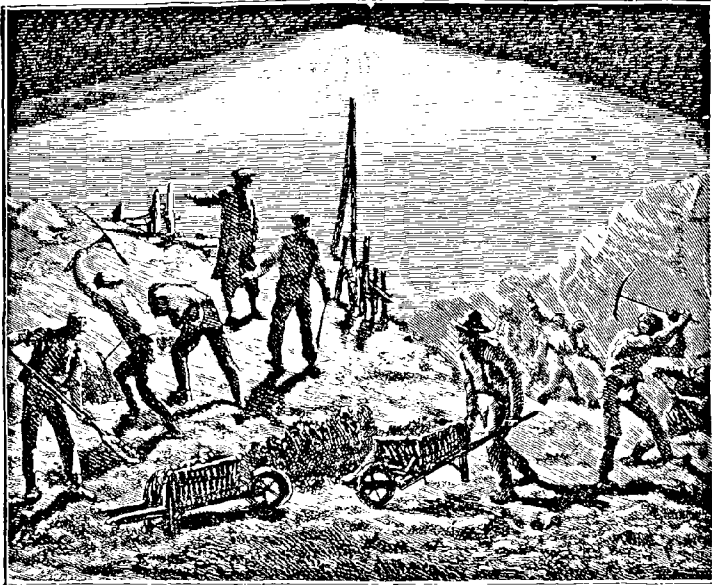


Fig. 341. Travaux de nuit exécutés à l'aide de la lumière électrique.

A Paris, plusieurs grands ateliers, quelques gares de marchandises dans les chemins de fer, quelques établissements, comme les magasins de la maison du Louvre, certains théâtres, l'Hippodrome, les cirques, etc., sont éclairés par l'électricité. Mais ces différentes applications ne se font, nous le répétons, qu'à titre d'essai, car le moment n'est pas encore venu où l'électricité pourra prendre définitivement sa place dans l'éclairage public.



XXV

LES AÉROSTATS

Les frères Montgolfier inventent les ballons à feu, à Annonay. — Le physicien Charles. — Voyage de Montgolfier à Paris. — Premier ballon à feu portant des voyageurs. — Première ascension d'un ballon à gaz hydrogène portant des voyageurs. — Blanchard franchit en ballon le Pas-de-Calais. — Mort de Pilâtre de Rozier. — Les aérostats employés dans les guerres de la République. — Les ballons du siège de Paris en 1870-1871. — Voyages aériens entrepris dans l'intérêt des sciences. — Voyage de Biot et de Gay-Lussac. — Mort des aéronautes Crocé-Spinnelli et Sivel, en 1875. — Théorie de l'ascension des aérostats. — Opérations à exécuter pour l'ascension d'un aérostat. — La nacelle, la soupape, le lest. — Le parachute. — Le ballon captif de M. Giffard en 1878 et 1879. — Les aérostats sont-ils dirigeables?

Les frères Étienne et Joseph Montgolfier, fabricants de papiers dans la petite ville d'Annonay (Ardèche), sont les inventeurs des ballons à feu, que l'on désigne souvent, en raison de cette circonstance, sous le nom de *montgolfières*.

Considérant que tout gaz plus léger que l'air doit s'élever dans l'atmosphère, par suite de la différence de densité de ce gaz avec l'air environnant, les frères Montgolfier composèrent artificiellement un gaz très léger, par un moyen fort simple, c'est-à-dire en chauffant un volume d'air limité contenu dans une enveloppe de papier et de toile. Après s'y être préparés par des essais convenables, ils rendirent leurs concitoyens témoins du brillant résultat de leurs expériences.

Le 4 juin 1783, une foule immense se pressait sur une des places de la petite ville d'Annonay. La machine aérostatique, faite de toile d'emballage et doublée de papier, portait à sa partie inférieure un réchaud, sur lequel on brûla de la paille

et de la laine, pour produire le gonflement du ballon au moyen de l'air chaud. Les acclamations des spectateurs saluèrent la machine, qui s'éleva en dix minutes à cinq cents mètres de hauteur.

Les membres des États du Vivarais, qui assistaient à cette belle expérience, en adressèrent le procès-verbal à l'Académie des sciences, qui manda aussitôt Étienne Montgolfier à Paris, et décida que l'expérience serait répétée à ses frais.

Mais tout Paris était impatient de jouir de ce spectacle nouveau. On ouvrit une souscription publique, qui produisit dix mille francs en quelques jours. Charles, professeur de physique d'un grand renom, se chargea de présider à la confection du ballon, qui fut exécuté dans les ateliers des frères Robert, constructeurs d'appareils de physique.

Personne à Paris ne connaissait encore la nature du gaz dont s'étaient servis, à Annonay,

les frères Montgolfier : on savait seulement, d'après la relation transmise par les États du Vivarais, que ce gaz était « moitié moins pesant que l'air ordinaire ». Sans perdre son temps à rechercher quel était ce gaz, et sans savoir encore que l'air chaud avait été le moyen employé par les frères Montgolfier, Charles résolut d'emplir son ballon avec le gaz hydrogène, corps qui n'était connu que depuis quelques années dans les laboratoires de chimie, et qui pèse quatorze fois moins que l'air.



Fig. 342. Les frères Montgolfier, médaille frappée en 1784.

Le 27 août 1783, ce ballon à gaz hydrogène fut lancé, au milieu du jardin des Tuileries, par Charles et Robert, et parvint, en moins de deux minutes, à mille mètres de hauteur. Les applaudissements et les cris d'enthousiasme de trois



Fig. 343. Expérience du 27 août 1783.

cent mille spectateurs saluèrent l'ascension du premier aérostat à gaz hydrogène (fig. 343).

Pour répondre au désir qu'avait manifesté l'Académie des sciences, Étienne Montgolfier se rendit bientôt dans la capitale.

Le 19 septembre 1783, il répéta à Versailles, en présence du roi (fig. 344), l'expérience du ballon à feu, telle qu'il l'avait faite à Annonay.

On avait enfermé dans une cage d'osier, suspendue à la

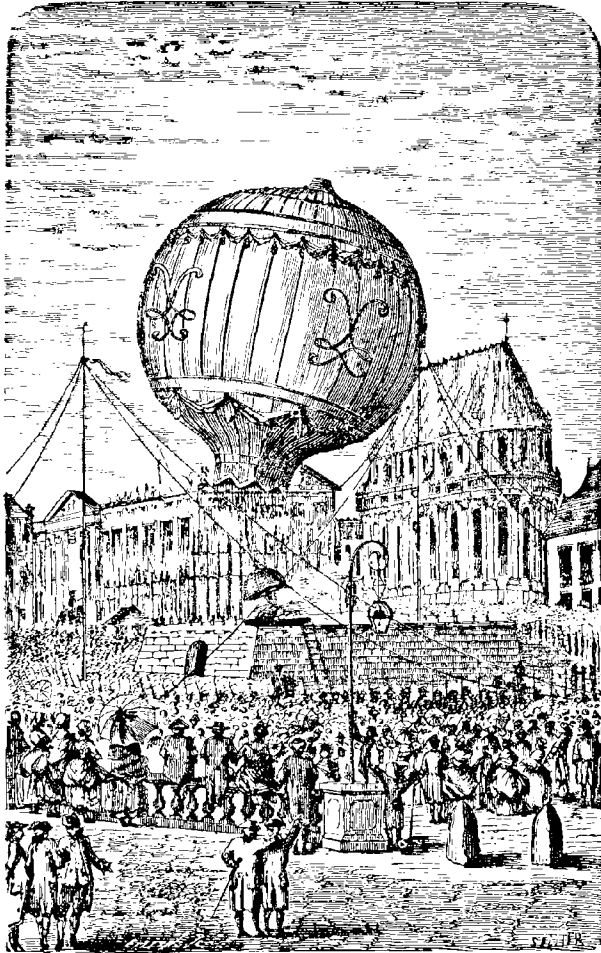


Fig. 344. Expérience faite à Versailles, par Étienne Montgolfier, le 19 septembre 1783.

partie inférieure du ballon, un mouton, un coq et un canard. Ces premiers navigateurs aériens firent un heureux voyage ; après s'être élevés à une assez grande hauteur, ils touchèrent la terre sans accident.

Le succès de ces belles expériences encouragea Étienne Montgolfier à construire un ballon propre à recevoir des hommes. Il disposa donc, autour de la partie extérieure de l'orifice du ballon, une galerie circulaire faite en osier, re-

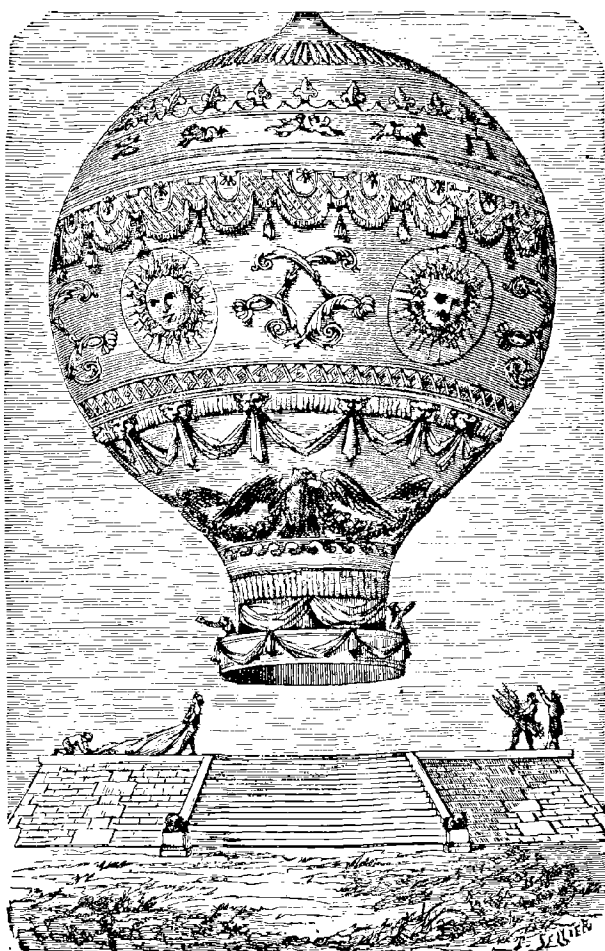


Fig. 345. Ballon de Pilâtre de Rozier et du marquis d'Arlandes.

couverte de toile, formant une sorte de balustrade destinée à donner place aux aéronautes. Un jeune physicien, Pilâtre de Rozier, et un officier, le marquis d'Arlandes, osèrent s'aventurer sur ce dangereux esquif.

Le 31 octobre 1783, après de longues hésitations de la part

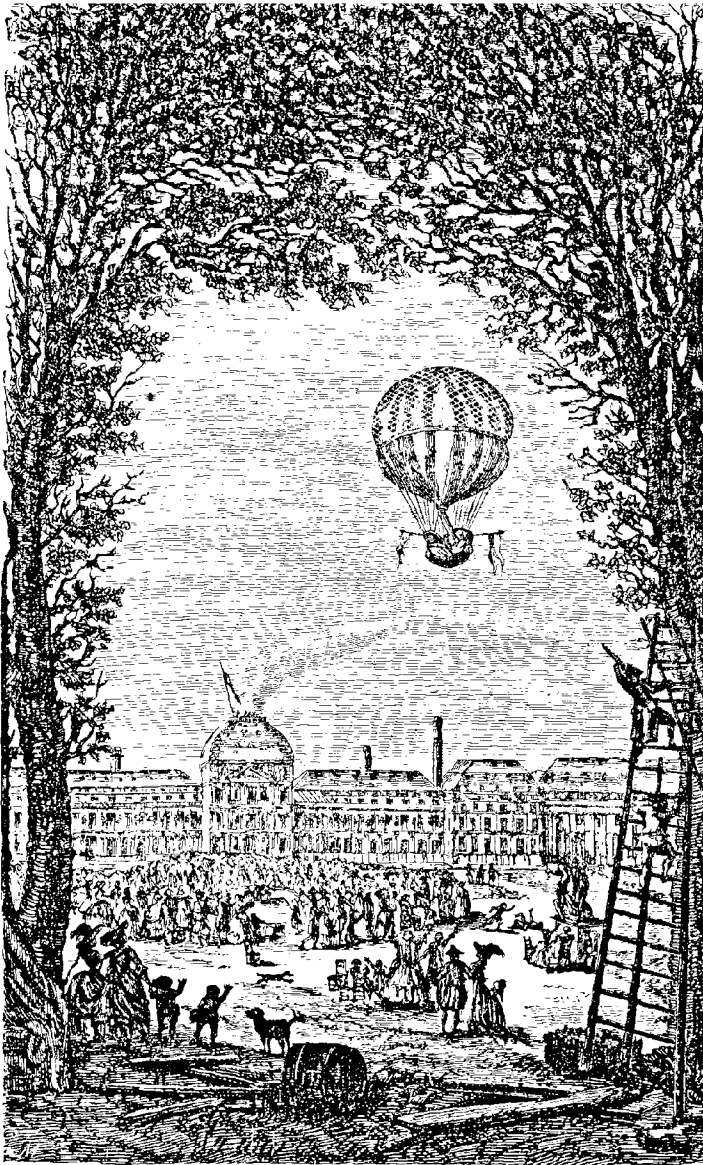


Fig. 346. Ascension aérostatique de Charles et Robert aux Tuileries, le 1^{er} décembre 1783.

de Montgolfier et du roi Louis XVI, qui concevaient des craintes sur le sort des courageux aéronautes, Pilâtre de Rozier et le marquis d'Arlandes s'élançèrent dans les airs, portés par le ballon à feu construit par Étienne Montgolfier. Ils partirent du château de la Muette, situé au bois de Boulogne.

Leur voyage aérien fut très heureux, et on les reçut, à leur descente, en véritables triomphateurs.

La figure 345, empruntée à une gravure de cette époque, représente la montgolfière qui emporta Pilâtre de Rozier et le marquis d'Arlandes, dans ce premier voyage aérien.

La brillante expérience de Pilâtre de Rozier fut bientôt répétée avec un ballon à gaz hydrogène, qui présentait beaucoup plus de sécurité qu'un ballon à feu pour un voyage aérien. Cette expérience eut lieu le 1^{er} décembre 1783. Au milieu d'une foule immense, accourue de tous les points de Paris, Charles et Robert partirent du jardin des Tuileries, et descendirent, deux heures après, à neuf lieues de Paris, dans la prairie de Nesles.

La figure 346, tirée de l'ouvrage de Faujas de Saint-Fond, représente l'aspect du jardin des Tuileries au moment de l'ascension aérostatique de Charles et Robert.

L'expérience que nous venons de rapporter a marqué une grande date dans l'histoire de l'art qui nous occupe, car c'est à cette occasion que le physicien Charles créa tous les moyens qui ont été mis en usage depuis dans les voyages aériens, à savoir : la soupape, pour faire descendre l'aérostat, en donnant issue au gaz, — la nacelle qui reçoit l'aéronaute, — le lest, pour modérer la vitesse de la descente, — l'enduit de caoutchouc appliqué sur le ballon de soie, pour s'opposer à la déperdition du gaz hydrogène, — enfin, l'usage du baromètre, qui indique, par les variations de hauteur de la colonne de mercure, si le ballon monte ou descend dans l'atmosphère, et qui sert à mesurer au besoin la hauteur à laquelle se trouve l'équipage aérien.

La figure 347 représente les dispositions qui furent prises par le physicien Charles pour remplir son ballon de gaz hydrogène. Le gaz se formait à l'intérieur de plusieurs tonneaux contenant de l'acide sulfurique, du fer et de l'eau. Ces tonneaux étaient munis d'un tube de métal qui conduisait l'hy-

drogène dans un tonneau plus grand, à demi rempli d'eau, pour le dépouiller des gaz étrangers solubles dans l'eau. En sortant de ce grand tonneau, le gaz hydrogène se dirigeait, au moyen d'un tube de cuir, dans l'intérieur du globe de soie.

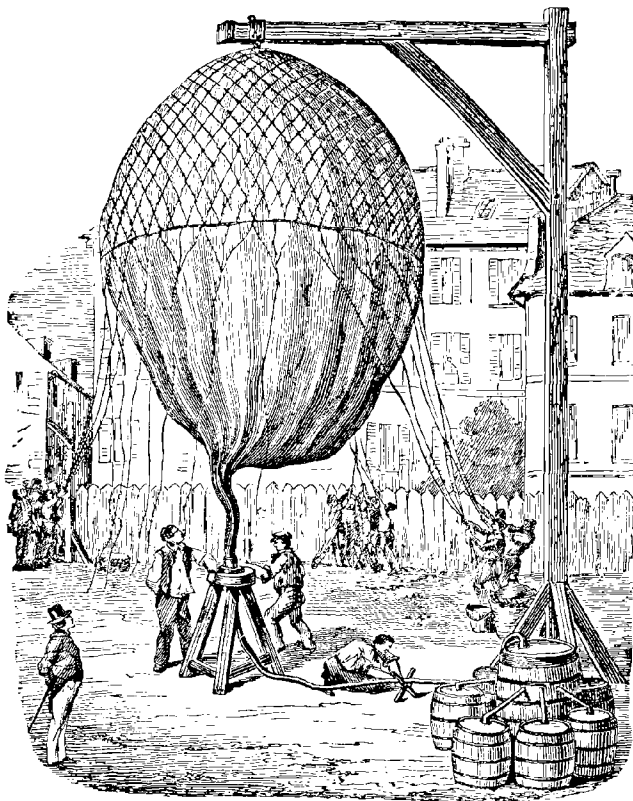


Fig. 317. Remplissage du ballon à gaz hydrogène du physicien Charles.

Blanchard, aéronaute français, après avoir fait plusieurs brillantes ascensions, conçut un projet d'une audace incroyable pour une époque où la science aérostatique était encore pleine d'hésitations et d'incertitudes. Il annonça qu'au premier vent propice il passerait en ballon de Douvres à Calais, en franchissant le bras de mer qui sépare l'Angleterre de la France.

Le 7 janvier 1785, Blanchard s'éleva, en effet, avec un Irlandais, le docteur Jeffries, dans un ballon à gaz hydrogène,

qui fut lancé de la côte de Douvres. Comme ils étaient au-dessus de la mer et environ au tiers du voyage, leur ballon commença à descendre : ils jetèrent leur lest, le ballon remonta et se dirigea vers la France. Comme ils voyaient déjà les côtes de France, le ballon, qui perdait du gaz, se mit à descendre avec rapidité. Ils lancent à la mer leurs provisions de bouche, leurs agrès, et même leurs vêtements. Mais le ballon descendait toujours. Enfin, après avoir couru plus d'une fois le danger de tomber à la mer, ils atteignirent la côte et descendirent aux portes de Calais, où l'on fit aux intrépides voyageurs une réception splendide. Blanchard reçut du maire des lettres qui lui accordaient le titre de citoyen de Calais, et son ballon fut déposé, en commémoration de cet événement, dans la principale église de la ville.

Le physicien Pilâtre de Rozier, qui avait déployé un talent et un zèle remarquables pour les progrès de l'aérostation, périt peu de temps après, le 5 juin 1785, en voulant imiter la tentative audacieuse de Blanchard. Il avait imaginé de réunir en un système unique les deux moyens dont on s'était servi jusque-là, c'est-à-dire la *montgolfière* et l'aérostàt à gaz hydrogène. Il se proposait de franchir ainsi la Manche, et d'aborder en Angleterre en partant de la côte de Boulogne. Mais quelques instants après le départ, et même avant qu'il fût parvenu au-dessus de l'Océan, l'étoffe du ballon à gaz hydrogène s'étant déchirée, pendant que l'aéronaute tirait la soupape, l'aérostàt, vide de gaz, tomba sur la *montgolfière* et, par son poids, précipita l'appareil sur la terre.



Fig. 348. Pilâtre de Rozier.

Pilâtre de Rozier, qui périt dans cette circonstance, était accompagné d'un physicien de Boulogne nommé Romain, qui partagea sa triste fin.

La figure 349 représente, d'après une gravure de cette époque, l'*aéro-montgolfière* de Pilâtre de Rozier.

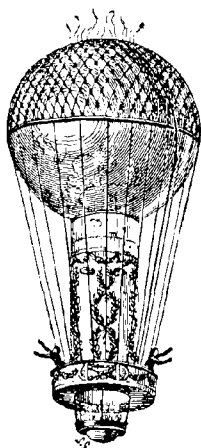


Fig. 349. Aéro-montgolfière de Pilâtre de Rozier.

Les globes aérostatiques maintenus captifs au moyen de cordes, à une hauteur convenable dans l'atmosphère, pouvaient fournir des postes d'observation pour découvrir les forces et les manœuvres des troupes ennemies. En 1794, on pensa à mettre les aérostats au service des armées françaises, et l'on créa, à cet effet, deux compagnies d'*aérostiers*. Le capitaine Coutelle reçut le commandement de la première compagnie d'aérostiers. Le ballon de

Coutelle rendit de véritables services à la bataille de Fleurus.

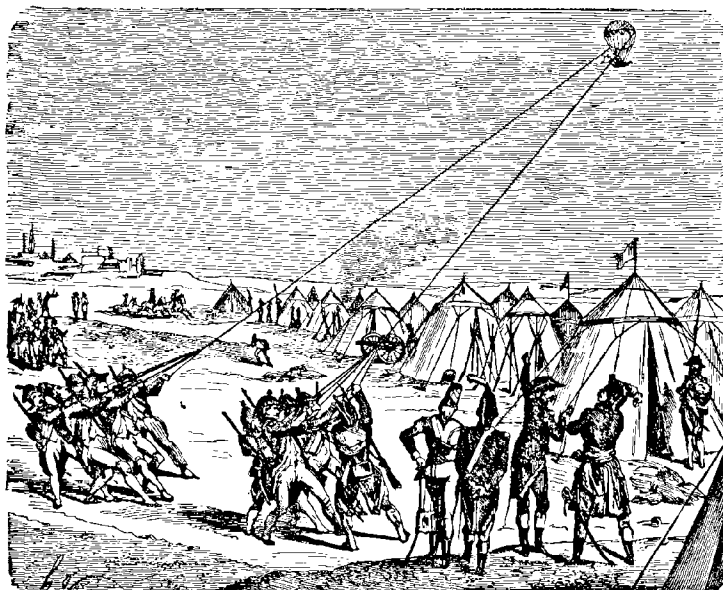


Fig. 350. Emploi des aérostats aux armées. Le ballon du capitaine Coutelle.

On se servit encore des aérostats dans quelques campagnes

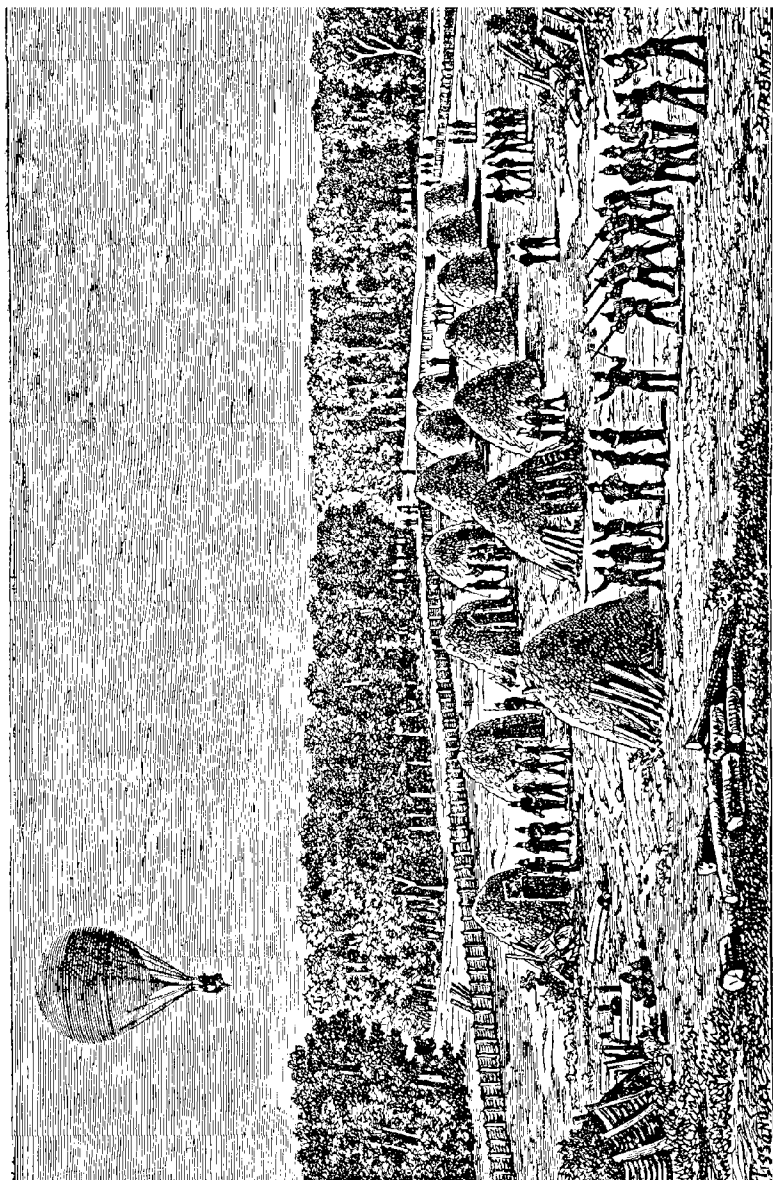


Fig. 35 t. Ballon du siège de Paris passant au-dessus d'un camp prussien.

de la République. Le ballon était toujours captif, grâce à deux cordes retenues chacune par un groupe de soldats. Le commandant, placé dans la nacelle, transmettait ses ordres aux *aérostiers*, avec des drapeaux de différentes couleurs. Du haut de ce poste élevé, il pouvait observer et suivre les marches, les opérations et les forces de l'ennemi.

Cependant la carrière militaire des ballons ne fut pas de longue durée. Le premier consul, Bonaparte, qui n'accordait point de confiance à l'emploi d'un tel moyen dans les armées, licencia les deux compagnies d'aérostiers, et fit fermer l'école que l'on avait établie dans les jardins du château de Meudon, pour étudier, sous la direction de Coutelle, les applications des aérostats à l'art militaire.

Personne n'ignore que pendant le blocus de Paris par les armées allemandes, en 1870-1871, les ballons servirent à entretenir quelques relations entre les départements et Paris assiégé. Les Prussiens essayaient vainement d'atteindre avec des armes à feu les voyageurs aériens. Nous représentons (fig. 331) un de ces aérostats passant, le 4 octobre 1870, au-dessus d'un camp prussien.

On avait compté un moment sur la possibilité de diriger les ballons, pour faire partir de Paris et y faire revenir ensuite des aérostats, qui auraient ainsi entretenu une correspondance entre la capitale investie et le reste de la France. Mais il fallut vite renoncer à cet espoir. On dut se borner à organiser les départs de ballons, que l'on lançait quand le vent était favorable, et qui devaient emporter l'aérostât vers le nord, le sud ou l'ouest. Montés par un homme déterminé, ces ballons s'en allaient à la garde de Dieu, tombant tantôt dans les lignes prussiennes, tantôt dans des localités sûres, d'autres fois, hélas ! allant se perdre dans la mer. Il en est plus d'un dont le sort est resté un secret entre Dieu et les infortunés passagers.

Nous n'avons pas à entrer ici dans les détails relatifs aux ascensions et descentes des aérostats qui furent expédiés pendant le siège, et qui étaient le seul moyen de donner à nos départements des nouvelles de la capitale bloquée. Nous dirons seulement que l'espoir que quelques personnes conservaient, de voir revenir à Paris un ballon lancé d'un de

nos départements, fut totalement déçu. Malgré les promesses de quelques aéronautes confiants dans leur courage, les tentatives faites à Tours et à Rouen pour faire pénétrer dans Paris un aérostat monté restèrent sans résultat. Aucun ballon ne put atterrir à Paris, pour apporter à ses habitants des nouvelles de la France envahie. Sans les *pigeons voyageurs* qu'emportaient les ballons partant de Paris et les dépêches de la photographie microscopique que ces fidèles messagers, rapportaient à Paris, le blocus moral de la capitale aurait été complet.

Le service de la *poste aérienne*, organisé par M. Rampon, directeur des postes, sous le gouvernement de la Défense nationale, fit partir 54 ballons, qui emportèrent 2,500,000 lettres, sous forme de dépêches microscopiques.

Le résumé de ces voyages a été donné par M. Saint-Edme, dans un ouvrage qui a pour titre *La science pendant le siège de Paris*. Nous emprunterons à cet ouvrage la liste des ballons expédiés pendant le siège.

« Le 7 octobre, dit M. Saint-Edme, départ de l'*Armand-Barbès* ; il emporte M. Gambetta et les premiers pigeons de l'administration : parti à 11 heures 15 minutes de la place Saint-Pierre, il est arrivé à *Epineuse* à 3 heures 30 minutes. On se rappelle les circonstances critiques de la descente qui faillirent livrer M. Gambetta aux Prussiens.

Le même jour partait le *Georgi-Sand*.

12 octobre, départ de deux ballons, *Washington* et *Louis-Blanc*, avec des lettres et M. Trachet, propriétaire de pigeons.

14 octobre, le *Godofroy-Cavaignac*, conduit par M. Godard père, emmenait M. de Kératry et ses deux secrétaires. Il atterrit à Crillon, près de Bar-le-Duc. Le même jour le *Guillaume-Tell* emmenait M. Ranc.

16 octobre, départ du *Jules-Favre*.

18 — — du *Victor-Hugo*.

19 — — du *Lafayette*, emmenant M. A. Dubost.

23 — — du *Garibaldi*, emmenant M. Jouvencel.

25 — — du *Montgolfier*.

27 — — du *Vauban*, qui tomba près de Verdun, dans les lignes prussiennes ; les aéronautes ont pu fuir.

29 octobre, départ du *Général-Charras*.

2 novembre, départ du *Fulton*.

4 — — du *Flocon* et du *Galilée*, lequel fut capturé ; les aéronautes furent conduits dans une forteresse allemande.

6 novembre, départ du *Châteaudun*

8 — — de la *Gironde*.

12 novembre, départ du *Daguerre* ; ce ballon fut aussi capturé par les assiégeants.

Le *Niepee*, parti le même jour, eut un sort plus heureux.

18 novembre, départ du *Général-Uhrich*.

21 — — de l'*Archimède*, dont la descente s'effectua en Hollande.

23 novembre, départ de la *Ville-d'Orléans*, qui atterrit en Norvège ; chacun a dû s'intéresser au récit si émouvant de cette course aérienne fantastique.

28 novembre, départ du *Jacquard*.

30 — — du *Jules-Favre*, deuxième du nom, tombé à *Belle-Isle-en-Mer*, et apportant la nouvelle de la sortie de Ducrot.

1^{er} décembre, départ du *Général Renault*.

5 — — du *Franklin*.

7 — — du *Denis-Papin*.

15 — — de la *Ville-de-Paris*. Ce ballon, monté par M. Delamarre, est tombé dans le Nassau ; l'aéronaute a publié le récit de son voyage chez les Allemands.

17 décembre, départ du *Parmentier* et du *Gutenberg*.

18 — — du *Davy*.

20 — — du *Général-Chanzy*.

22 — — du *Lavoisier*.

23 — — de la *Délivrance*.

27 — — du *Tourville*.

29 — — du *Bayard*.

31 — — de l'*Armée-de-la-Loire*.

4 janvier 1871, départ du *Newton*.

9 janvier, départ du *Duquesne*.

10 — — du *Gambetta*.

11 — — du *Képler*.

13 — — du *Faidherbe*.

15 — — du *Vaucanson*.

18 — — de la *Poste-de-Paris*.

20 — — du *Bourbaki*.

22 — — du *Daumesnil*.

24 — — du *Torricelli*.

27 — — du *Richard-Wallace*.

28 — — du *Général-Cambronne*.

En tenant compte des lieux de départ de ces ballons qui se sont suivis si régulièrement, nous trouvons que :

26 départs ont eu lieu de la gare d'Orléans.

16 — — de la gare du Nord.

3 — — de la place Saint-Pierre à Montmartre.

2 — — des Tuileries.

2 — — de la barrière d'Italie.

1 — — de l'usine de Vaugirard.

1 — — de la Vilette. »

M. Gaston Tissandier a attaché son nom à la campagne aérostatique de la guerre contre la Prusse. Sorti de Paris en ballon, l'un des premiers, il organisa, à Tours et à Bordeaux, un service d'aérostats dans l'armée de la Loire. Son ballon suivait l'armée du général Chanzy, et ce ne fut pas sa faute si les occasions manquèrent d'utiliser ce moyen d'observation militaire, par suite de l'extrême confusion qui présidait aux opérations de l'armée de la Loire.



Les premiers aéronautes mettaient leur héroïsme au service d'une découverte nouvelle et dont on ne pouvait encore mesurer la portée : leurs successeurs eurent le tort de ne faire de l'aérostation qu'un spectacle public, un moyen d'attraction pour les oisifs et les badauds. Tout le monde connaît le nom des aéronautes de profession, tels que Jacques et Éliisa Garnerin, madame Blanchard, Margat, Charles Green et Georges Green, son fils. Parmi les nombreuses ascensions exécutées par ces aéronautes, nous signalerons quelques-unes de celles qui ont le plus frappé l'esprit du public.

En 1819, M^{me} Blanchard s'éleva, au milieu d'une fête donnée au jardin de Tivoli de la rue Saint-Lazare. Elle avait emporté dans sa nacelle des pièces d'artifice, qu'elle devait enflammer au milieu des airs, quand elle serait arrivée à une certaine hauteur. Mais, par suite d'une secousse, la lance à feu qu'elle tenait à la main enflamma le gaz hydrogène. M^{me} Blanchard, serrant l'orifice inférieur du ballon, essaya, mais en vain, d'arrêter les progrès du feu. Le gaz brûla pendant plusieurs minutes, sans endommager l'enveloppe du ballon. La machine enflammée descendait doucement, et si le vent l'eût portée vers la campagne, l'intrépide aéronaute eût sans doute opéré sa descente sans accident. Malheureusement, l'aérostat tomba sur Paris : il vint heurter le toit d'une maison de la rue de Provence. La nacelle, glissant sur la pente du toit, du côté de la rue, rencontra un crampon de fer. Ce brusque arrêt imprima une secousse, qui précipita l'aéronaute hors de la nacelle. Elle se brisa le crâne sur le pavé de la rue.

Les ascensions du comte Zambeccari, de Bologne, furent marquées par de terribles péripéties. Zambeccari employait

une lampe à esprit-de-vin pour chauffer l'air de son ballon. Dans une première ascension, la lampe à esprit-de-vin se brisa, et Zambeccari, en s'élevant dans les airs, fut enveloppé par les flammes. Il parvint heureusement à éteindre le feu, et redescendit vivant, mais affreusement brûlé.

En 1804, son aérostat tomba dans la mer Adriatique. Il flottait dans l'eau, sur les débris de son ballon, avec son compagnon de voyage, au milieu d'une nuit obscure et de vagues furieuses, qui quelquefois les couvraient en entier. Après de longues heures d'angoisses, Zambeccari et son compagnon furent recueillis sur un navire.

Zambeccari périt en 1812, à Bologne, au milieu des airs, dans son ballon, que la lampe à esprit-de-vin avait incendié.

Harris, Sadler, Olivari, Mosment, Émile Deschamps, Georges Gale, ont, de même, péri misérablement dans des ascensions aériennes. Mais faisons remarquer que l'inexpérience et l'imprudence des aéronautes ont été les principales causes de ces malheurs. En effet, le nombre des ascensions effectuées jusqu'à ce jour peut être évalué à plus de dix mille, et sur ce grand nombre on n'en compte guère plus de quinze qui aient été suivies d'un résultat fatal.

Une ascension qui a excité vivement la curiosité publique est celle du ballon *le Géant*, opérée, sous la direction de M. Nadar, au Champ de Mars, à Paris.

Le 18 octobre 1863, à cinq heures du soir, le gigantesque ballon, emportant neuf voyageurs, s'éleva majestueusement dans les airs, aux applaudissements d'une foule immense. Prenant la direction du nord-est, il passa sur la Belgique, allant droit à la mer du Nord. Mais le lendemain dans la matinée, un nouveau courant l'entraîna vers le Hanovre, où les aéronautes résolurent d'opérer leur descente. La violence du vent imprimant au ballon une vitesse de soixante lieues à l'heure, les ancres furent arrachées au premier obstacle, et le *Géant* se mit à faire des bonds formidables, heurtant les arbres, labourant la terre, brisant tout sur son passage. Enfin, un massif d'arbres l'ayant arrêté, la violence du choc lança les voyageurs sur le sol, couverts de blessures et de contusions. Ils étaient près de Nienbourg, dans le royaume de Hanovre, où ils reçurent l'accueil le plus empressé et le plus sympathique.

Le *Géant* a fait depuis quelques autres voyages plus ou moins heureux.

Ce n'est qu'en 1803, vingt ans après la découverte de Montgolfier, que l'on commença à employer les aérostats comme moyen d'observation scientifique.

La première ascension entreprise dans un but scientifique fut exécutée à Hambourg, le 18 juillet 1803, par un physicien flamand, E. Robertson, aidé de son compatriote L'Hoest.

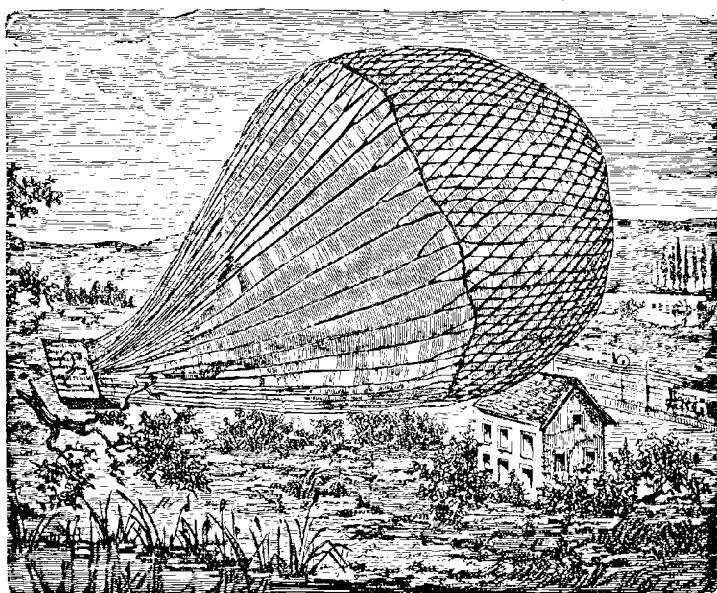


Fig. 352. Catastrophe du *Géant*, le 18 octobre 1863.

Parvenus à une grande hauteur, Robertson et L'Hoest se livrèrent à diverses observations de physique.

En France, Biot et Gay-Lussac exécutèrent, en 1804, une très belle ascension, qui donna lieu à diverses observations très importantes pour la science. Dans un second voyage, Gay-Lussac partit seul, et s'éleva jusqu'à 7016 mètres au-dessus du niveau de la mer. Dans ces hautes régions, le baromètre était descendu de 0^m,76, qu'il marquait à terre, à 0^m,32. Le thermomètre, qui marquait + 27° à terre, marquait, dans le ballon parvenu à cette hauteur, — 9°. Dans ces

hautes régions la sécheresse était extrême ; le papier se crispait comme devant le feu ; la respiration et la circulation du sang de l'observateur étaient accélérées, à cause de la grande raréfaction de l'air.

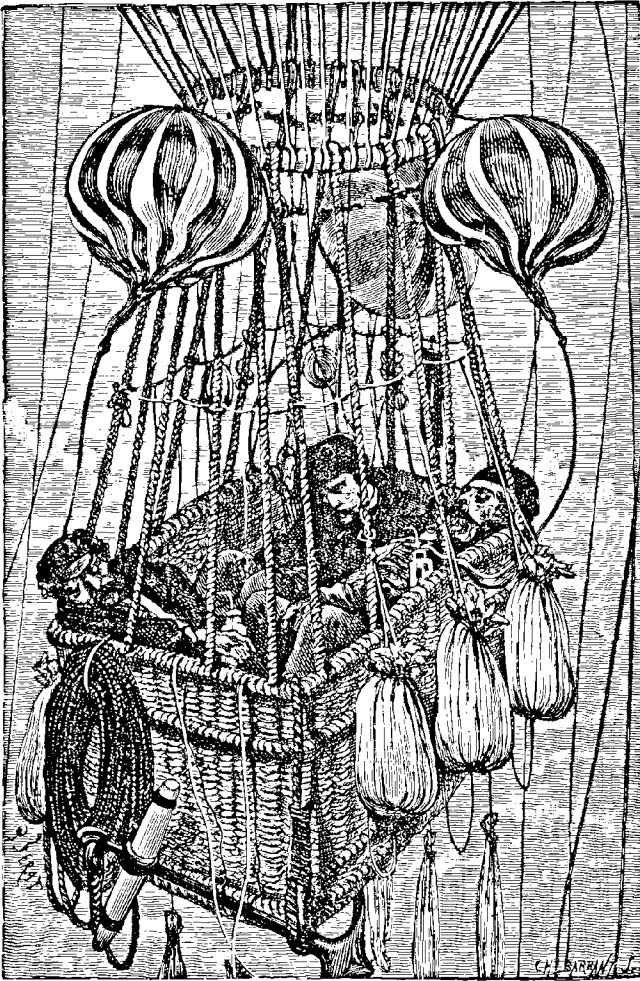


Fig. 353. La catastrophe du *Zénith*, le 15 avril 1875.

En 1830, MM. Barral et Bixio exécutèrent une ascension scientifique qui ne donna que peu de résultats utiles.

En 1862 et 1863, M. Glaisher, chef du bureau météorologique de Greenwich, obtint, dans une série d'ascensions aéro-

tatiques, des résultats intéressants pour la météorologie et la physique du globe.

Malgré toutes ces tentatives, on est encore loin d'avoir tiré des aérostats tous les avantages qu'ils peuvent fournir pour l'étude scientifique de l'atmosphère.

En 1874, Crocé-Spinelli et Sivel firent une très belle ascension aérostatique, pour étudier diverses questions relatives à la physique et à l'atmosphère.

Personne n'ignore que ces deux aéronautes, accompagnés de M. Gaston Tissandier, ayant voulu, dans une seconde ascension, faite le 15 avril 1875, dans le ballon *le Zénith*, s'élever aux plus hautes régions auxquelles l'homme puisse parvenir, furent victimes de leur zèle pour la science et de leur témérité. Crocé-Spinelli et Sivel perdirent la vie; leur compagnon, M. Gaston Tissandier, n'échappa que par miracle à la mort (fig. 353).



C'est ici le lieu de donner l'explication du phénomène de l'ascension des *montgolfières* et des aérostats et de faire connaître la manière dont on procède pour construire et pour faire flotter dans l'espace ces machines aériennes.

Lorsqu'un corps est plongé dans l'air, il est soumis à l'action de deux forces opposées : d'une part la pesanteur, qui tend à l'abaisser, et d'autre part une poussée de l'air en sens contraire, qui tend à le soulever. Cet effort de bas en haut est égal au poids même de l'air déplacé par le corps. Si donc le corps plongeant dans l'air pèse moins que l'air qu'il déplace, c'est la poussée de celui-ci qui prédomine sur le poids du corps, et le corps prend un mouvement ascensionnel. La machine aérostatique des frères Montgolfier était remplie d'air chaud ; or, l'air chaud pesant moins que l'air froid (puisqu'il n'est que de l'air dilaté, qui, sous le même volume, contient moins de matière), il arrivait que l'air chaud du ballon, augmenté du poids de l'appareil, pesait moins que le même volume d'air extérieur ; donc le ballon devait monter. Mais l'air va en diminuant de densité à mesure qu'on s'élève : l'appareil doit donc s'arrêter et demeurer en équilibre quand il rencontre une couche d'air telle que le volume qu'il en déplace pèse précisément autant que lui.

L'explication que nous venons de donner de l'ascension des montgolfières, ou ballons à feu, rend nécessairement compte aussi de la cause de l'ascension des aérostats à gaz hydrogène. Un ballon rempli de gaz hydrogène déplace un égal volume d'air atmosphérique : mais comme le gaz hydrogène est beaucoup plus léger que l'air, il est poussé de bas en haut par une force égale à la différence qui existe entre la densité de l'air et celle du gaz hydrogène. Le ballon doit donc s'élever dans l'atmosphère jusqu'à ce qu'il rencontre des couches d'une densité précisément égale à celle de sa propre densité, et arrivé là, il doit rester en équilibre. Pour que l'aérostat redescende, il faut nécessairement remplacer une partie du gaz hydrogène qui le remplit, par de l'air atmosphérique, et il ne peut toucher terre que lorsque le gaz hydrogène a été expulsé et remplacé totalement par de l'air atmosphérique.

Dans la plupart des ascensions aérostatiques, on se contente de remplir le ballon avec du gaz d'éclairage, c'est-à-dire avec l'hydrogène bi-carboné, provenant de la décomposition de la houille, gaz qui est environ deux fois plus léger que l'air. Il suffit alors d'engager dans l'orifice inférieur du ballon un tuyau de conduite recevant de l'usine le gaz d'éclairage. Mais la trop faible différence qui existe entre la densité de l'air et celle du gaz d'éclairage oblige d'employer des ballons d'un volume considérable, quand on veut enlever des personnes ou des objets un peu lourds.

Les dimensions des ballons peuvent être extrêmement réduites si on remplit le ballon avec du gaz hydrogène pur, dont la densité est quatorze fois inférieure à celle de l'air¹.

On prépare très facilement le gaz hydrogène destiné à remplir un aérostat, en faisant réagir, sur des fragments de zinc ou de fer, de l'eau et de l'acide sulfurique. On place ces substances dans plusieurs tonneaux qui communiquent par des tuyaux de conduite avec un tonneau central défoncé à sa partie inférieure et plongeant dans une cuve pleine d'eau. En même temps que le gaz hydrogène se produit par la réaction de l'eau et de l'acide sulfurique sur le zinc ou le fer, il se forme du gaz acide sulfureux, ce même gaz irrespirable ou irritant

1. La densité de l'air étant 1, la densité ou le poids spécifique du gaz hydrogène pur est de 0,06.

qui provient de la combustion du soufre à l'air, et qui se produit quand on enflamme une allumette. Le gaz hydrogène souillé d'acide sulfureux se débarrasse de ce produit nuisible, en traversant la cuve pleine d'eau, c'est-à-dire le tonneau central, où il se lave parfaitement : l'acide sulfureux demeure dissous dans l'eau. Le gaz ainsi purifié pénètre dans l'aérostât par un long tube en toile, fixé par un bout au tonneau central et par l'autre à la partie inférieure de l'aérostât.

La figure 354 fait voir tous les détails du remplissage d'un

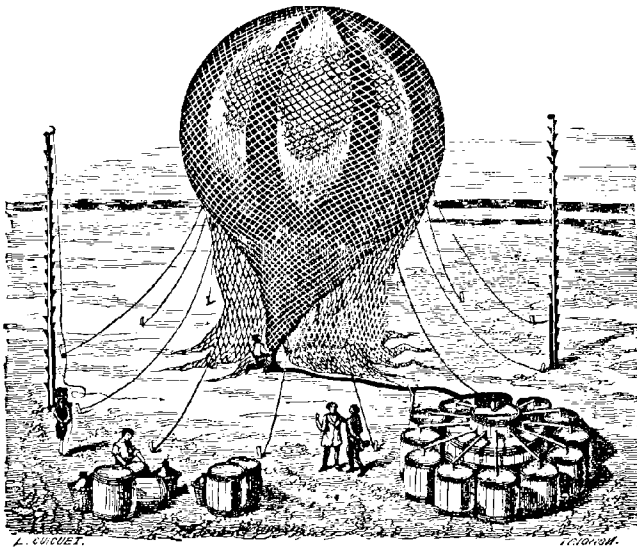


Fig. 354. Remplissage d'un ballon de gaz hydrogène.

aérostât par le gaz hydrogène préparé au moyen de l'acide sulfurique et du fer.

On ne remplit jamais un aérostât qu'aux trois quarts environ de sa capacité. En effet, à mesure que le ballon s'élèvera, il pénétrera dans des couches d'air de moins en moins denses qui le presseront ainsi de moins en moins : dès lors le gaz intérieur, se dilatant proportionnellement à la diminution de pression, gonflera progressivement le ballon, en sorte que si celui-ci eût été entièrement rempli au moment du départ, la dilatation du gaz n'aurait pas manqué de faire éclater l'enveloppe. La figure 355 représente un ballon entièrement gonflé par le gaz hydrogène.

Il est presque inutile de faire ressortir l'immense supériorité des aérostats à gaz hydrogène sur les ballons à feu. Pour ces derniers, la grande quantité de combustible qu'il fallait emporter, la faible différence qui existe entre la densité de l'air échauffé et celle de l'air froid, la nécessité d'alimenter,

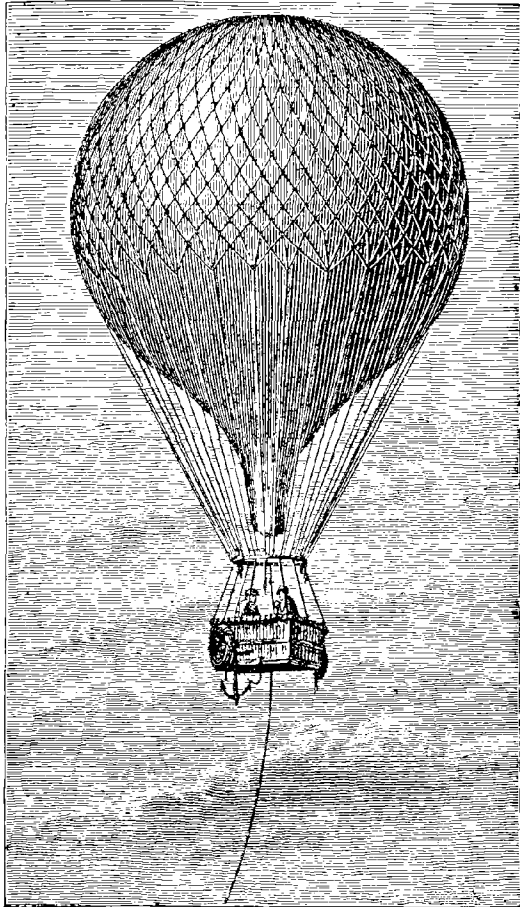


Fig. 355. Aérostat entièrement gonflé.

de surveiller sans cesse le feu dans la corbeille suspendue à la partie inférieure du ballon, étaient des obstacles et des dangers presque insurmontables. Aussi ne se sert-on jamais aujourd'hui de l'air chaud que pour lancer des ballons perdus, c'est-à-dire des *montgolfières*. Pour faire élever des aérostats

montés par des voyageurs, on ne doit jamais employer que le gaz d'éclairage ou le gaz hydrogène.

La nacelle dans laquelle se place le voyageur aérien est suspendue au-dessous du ballon, et soutenue par un filet en corde qui enveloppe le globe tout entier et pèse sur son sommet. Une soupape, moyen imaginé par le physicien Charles, s'adapte à la partie supérieure du ballon, et l'aéronaute peut la manœuvrer comme il le veut, à l'aide d'une longue corde. Quand il ouvre la soupape, une partie du gaz s'échappe; comme ce gaz est aussitôt remplacé par un même volume d'air, le poids de l'appareil augmente, et le ballon peut ainsi descendre lentement et graduellement.

Mais si le ballon, en descendant, se dirige vers un édifice, une forêt, une rivière, de sorte qu'il y ait quelque danger pour l'aéronaute et pour la conservation de son appareil, comment éviter ce danger? Le moyen est très simple et a encore été indiqué par Charles. En partant, l'aéronaute a eu soin de placer dans sa nacelle des sacs pleins de sable; dans le cas dont nous parlons, il vide un de ces sacs, et le ballon se trouvant allégé d'autant, sa force ascensionnelle augmente, il s'élève et peut conduire l'aéronaute dans un endroit plus favorable pour redescendre et y prendre terre. On conçoit encore que par le même moyen on puisse modérer et ralentir la chute d'un aérostat.



On nomme *parachute* un appareil qui fut imaginé, dans l'origine, pour donner plus de sécurité à la descente aérostatique. Si, par une cause quelconque, le ballon n'offre plus les conditions de sécurité voulues, l'aéronaute, en se plaçant dans la nacelle du parachute, et coupant la corde qui attache ce parachute au ballon, peut s'abandonner à l'air et arriver à terre sans accident.

Hâtons-nous de dire, pourtant, que cet appareil n'a jamais été employé comme un moyen de sauvetage, dans un voyage aérien. Il n'a servi qu'aux aéronautes de profession, pour étonner le public par le saisissant spectacle d'un homme qui se précipite courageusement dans l'espace du plus haut des airs.

Le parachute est une sorte de vaste parasol, qui a ordinairement cinq mètres de rayon et est formé de trente-six fuseaux

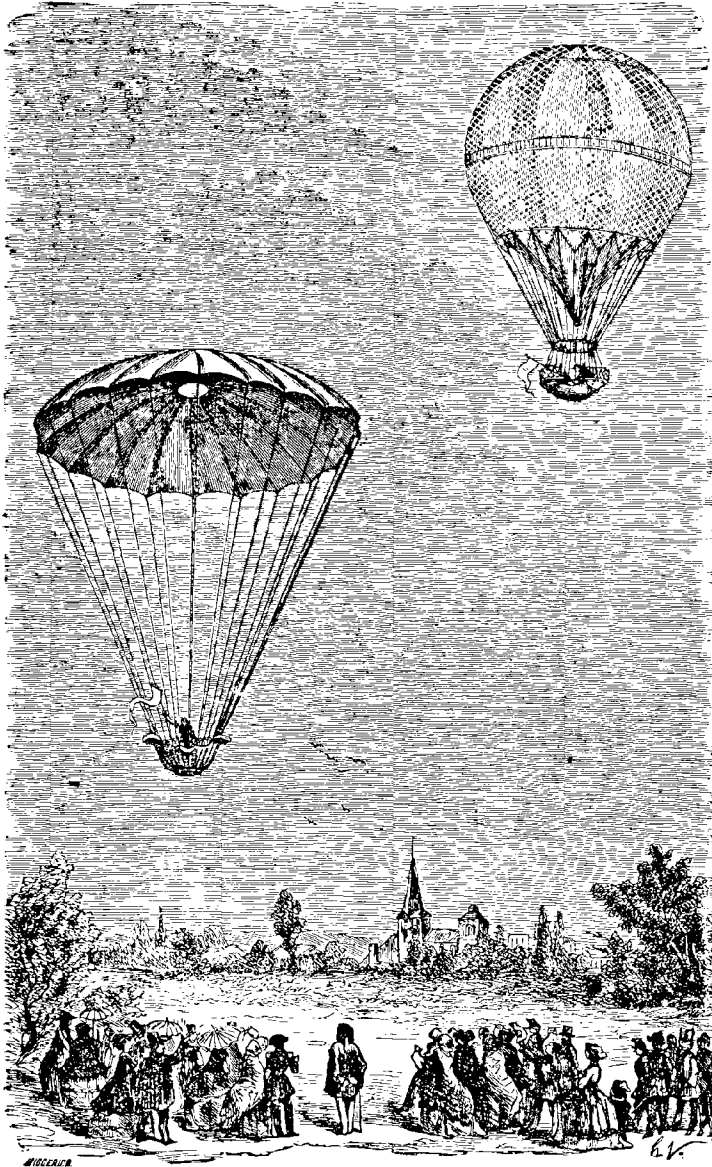


Fig. 356. Une descente en parachute.

de taffetas cousus ensemble et réunis, au sommet, à une rondelle de bois. Plusieurs cordes partant de cette rondelle soutiennent la nacelle destinée à recevoir l'aéronaute. Au sommet du parachute se trouve pratiquée une ouverture, qui permet à l'air, comprimé par la rapidité de la descente, de s'échapper sans imprimer à l'appareil de secousses dangereuses (fig. 357).

Le parachute modère la rapidité de la descente par la large surface qu'il présente à la résistance de l'air.

Jacques Garnerin, aéronaute français, osa le premier se précipiter du haut des airs avec un parachute. Le 22 octobre 1797, en présence d'une foule étonnée de son courage, Jacques Garnerin se précipita, protégé par cet appareil, d'une hauteur de mille mètres.

Ce spectacle a été depuis prodigué aux yeux des spectateurs, par sa nièce, Élisabeth Garnerin, par M^{me} Blanchard, et plus tard, c'est-à-dire de 1840 à 1850, par Godard et Poitevin (fig. 357).

La première idée du parachute et sa véritable invention appartiennent à un professeur de physique de Montpellier, Sébastien Lenormand, qui en fit l'expérience publique, en se jetant, le 26 novembre 1783, muni d'un énorme parasol, c'est-à-dire d'un parachute, du haut de la tour de l'Observatoire de Montpellier.

Peut-être Sébastien Lenormand avait-il été enhardi à faire ce périlleux essai à la suite d'un accident singulier arrivé, peu de temps auparavant, à Nîmes. La fille d'un pâtissier, âgée de dix-huit ans, avait eu l'imprudence d'attacher des rideaux à une fenêtre qu'elle avait laissée ouverte. L'échelle sur laquelle elle était montée glissa, et la pauvre fille fut pré-

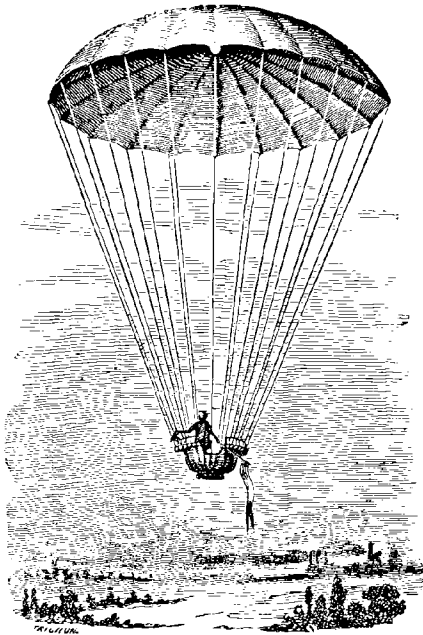


Fig. 357. Parachute.

cipitée par la fenêtre du second étage dans la cour. Par bonheur pour elle, un vent du nord très violent soufflait en ce moment et s'engouffrait par la porte de la maison. Le vent gonfla les vêtements de la jeune fille en forme de parasol, de sorte qu'elle en fut quitte pour quelques contusions. Mais ce qu'il y a de plus extraordinaire dans cette aventure, c'est que la demoiselle était sourde et que l'usage de l'ouïe lui fut rendu par l'émotion qu'elle éprouva dans sa chute.



Le parachute est un engin assez oublié aujourd'hui, mais une autre invention a eu le privilège d'attirer beaucoup, dans ces dernières années, l'attention du public. Nous voulons parler du *ballon captif* imaginé et construit par le célèbre ingénieur M. Henri Giffard.

C'est pendant l'Exposition universelle de 1867 que le ballon captif fut construit pour la première fois et réalisa d'admirables ascensions. En 1878, à l'occasion de l'Exposition universelle, le même ballon captif revit le jour et reprit les airs avec un grand éclat. Nous entrerons ici dans quelques détails sur ce remarquable esquif aérien, que représente la figure 358.

Et d'abord il avait fallu donner au câble destiné à retenir la masse énorme de l'aérostat captif une résistance relativement prodigieuse. Ce câble était en chanvre, mais d'une qualité particulièrement tenace et d'une extraordinaire solidité. Légèrement conique, il mesurait 0^m,085 de diamètre à sa partie supérieure, laquelle était fixée par une énorme épissure au cercle; il n'avait plus que 0^m,065 de diamètre à sa partie inférieure, qui restait fixée à terre.

La longueur de ce câble était de 600 mètres.

L'étoffe du ballon était composée de sept tissus superposés et solidarisés de manière à former un tout homogène.

Le filet se composait de 60,000 mailles formées à l'aide de cordes passées les unes dans les autres.

La nacelle (fig. 359), qui pesait 1,800 kilogrammes, pouvait contenir 50 personnes. C'était une sorte de tonneau évidé à son centre. Dans la galerie circulaire résultant de cet évidement se plaçaient les voyageurs. Le câble passait dans l'espace vide. La galerie où se tenaient les voyageurs était munie

d'une balustrade, enveloppée elle-même d'un filet. Le *dynamomètre*, qui donnait à chaque instant la mesure de la force totale déployée par la machine, était sous les yeux des voyageurs, qui pouvaient ainsi se rendre compte par eux-mêmes de l'effort développé.

Pour retenir une pareille masse attachée au sol et pour

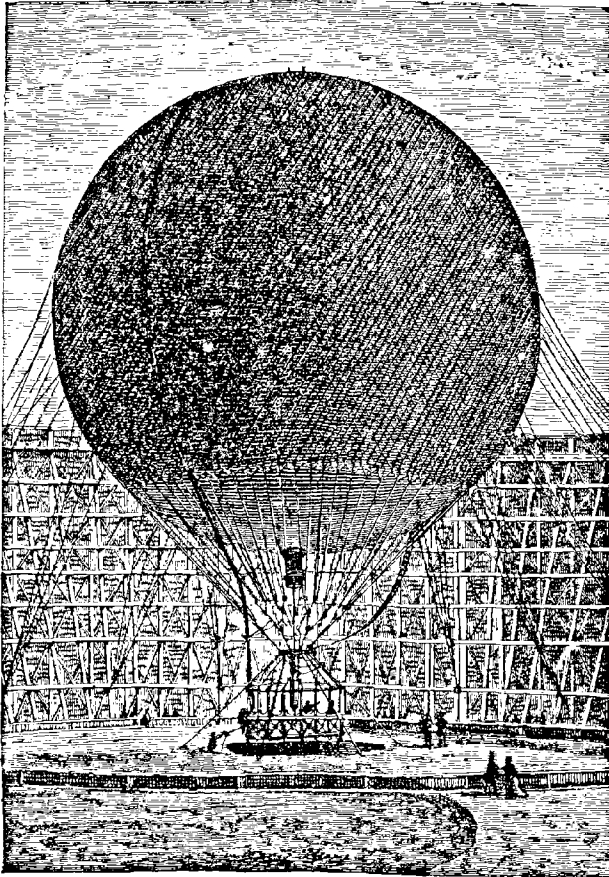


Fig. 358. Le ballon captif de M. H. Giffard.

combattre l'effet du vent, il faut un effort mécanique prodigieux. L'énorme surface que le ballon présente à l'impulsion du vent aurait couché le globe sur le sol ou l'aurait empêché de s'élever, s'il n'eût joui d'une force ascensionnelle considérable, et si l'on n'eût employé, quand il s'agissait de le ramener

à terre, une grande puissance mécanique pour tirer et enrouler le câble.

Il y avait donc, dans la cour des Tuileries, deux machines à vapeur, pour développer la puissance de retenue, et un treuil, pour enrouler le câble. La force de la vapeur dont on disposait était de 300 chevaux. Quant au treuil, il n'avait pas moins de 14 mètres de longueur, 1^m,75 de hauteur et un poids de 42,000 kilogrammes. Il pouvait faire 30 tours à la minute. Il était creusé de 108 spires en fer forgé, dont la profondeur allait en décroissant, comme le diamètre du câble.

Le mode d'attache du câble à la nacelle était des plus re-

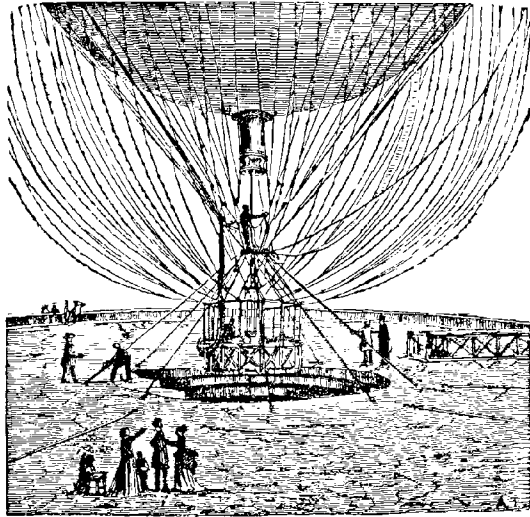


Fig. 359. Nacelle du ballon captif.

marquables. Dans la cour des Tuileries on avait creusé une cavité circulaire, dans laquelle descendait et s'élevait la nacelle. Le câble partant du treuil venait aboutir à cette cavité, à cette sorte de bassin, par un grand tunnel souterrain.

Ce tunnel n'avait pas moins de 60 mètres de longueur, 12 mètres de largeur et 3 mètres de hauteur. Il était destiné à conduire le câble au cercle de suspension. Il débouchait au fond de la cavité circulaire dont les parois étaient inclinées de manière à ce que la corde ne vînt jamais frapper sur les bords.

Le mode de suspension de la nacelle était le système connu

sous le nom de *poulie à mouvement universel*. La corde, avant de s'attacher à la nacelle, passe sur une poulie, rendue mobile par le système de suspension connu en mécanique sous le nom de *suspension à la Cardan*. C'est un arbre articulé ou doublement coudé, qui permet à la poulie de tourner sur elle-même, de manière à pouvoir suivre, sans que le câble ait à s'en ressentir, tous les mouvements de la nacelle, et par conséquent du ballon.

La figure 360 représente ce mode de suspension.

La poulie mesurait 1^m,60 de diamètre, et l'appareil tout entier avait 4 mètres de hauteur.

Les ballons ordinaires sont gonflés avec le gaz d'éclairage; mais la puissance ascensionnelle du gaz d'éclairage est trop

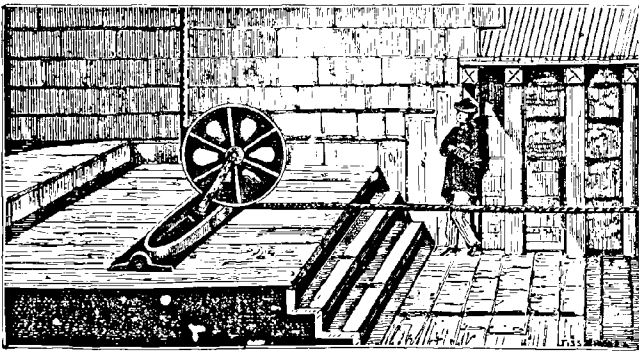


Fig. 360. Poulie mobile du ballon captif.

faible pour que, dans le cas actuel, on eut pu s'en contenter. C'est donc avec du gaz hydrogène qu'avait été rempli le ballon captif.

Les ascensions commencèrent dans les premiers jours du mois d'août 1878, et se terminèrent dans les premiers jours de novembre. On payait, à la grille de la cour des Tuileries, un droit d'entrée de 1 franc, et 20 francs pour l'ascension, qui durait environ 15 à 20 minutes, montée et descente. En quittant l'aérostat, chaque personne recevait une médaille de bronze, commémorative de son ascension.

Le ballon fut dégonflé le 7 novembre 1878 et remis, pour servir, en 1879, à de nouvelles ascensions captives.

En effet, les ascensions furent reprises pendant l'été de 1879; mais le mauvais temps entrava quelque peu les évolutions de

ce colosse des airs, et le 18 août un coup de vent terrible vint mettre fin à sa carrière. Sous l'impulsion d'une bourrasque subite, l'étoffe se déchira de bas en haut, dans toute sa longueur. La place du Carrousel fut infectée, pendant un instant, par l'odeur désagréable du gaz qui s'était échappé. Il fallut moins d'une minute pour que le ballon s'affaissât complètement.

On le vit, pendant quelques jours, étendu à terre, entouré de son filet. Quant à la nacelle, rien ne l'avait dérangée; elle resta sur des supports qui étaient toujours disposés pour la tenir au repos.

Les précautions qui avaient été prises avant l'événement empêchèrent tout accident. Personne ne se trouvait du côté où le ballon s'abattit.



On se demande assez souvent s'il est possible de diriger à son gré les ballons à travers les airs. Les études approfondies faites de nos jours par les géomètres, les physiciens, ainsi que par les aéronautes eux-mêmes, ont prouvé qu'il serait impossible, avec les moteurs dont la mécanique dispose aujourd'hui, d'obtenir la direction des ballons, parce qu'il n'existe aucun moteur qui soit assez puissant pour combattre l'énorme force des vents et des courants de l'atmosphère, et en même temps assez léger pour être enlevé dans les airs avec l'aérostat. Le jour où un moteur très léger et très puissant à la fois sera à notre disposition, la direction des ballons cessera d'être un vain désir, et l'homme pourra jouir du domaine des airs, qui lui est fermé aujourd'hui.

Ajoutons, toutefois, que même en supposant que l'on disposât d'un moteur assez puissant et assez léger à la fois pour permettre de diriger à son gré la marche de l'esquif aérien, il faudrait toujours s'abstenir d'entreprendre un voyage par un vent un peu fort; car aucune puissance mécanique ne peut triompher de la violence du vent qui s'exerce contre l'énorme surface d'un aérostat.



XXVI

LES PUIITS ARTÉSIENS

Historique. — Les puits artésiens en Europe. — Considérations générales sur les puits artésiens. — Théorie géologique. — Le puits de Grenelle. — Le puits de Passy.

On appelle *puits artésiens* des trous de sonde verticaux pratiqués dans le sol, et au moyen desquels les eaux situées à une certaine profondeur remontent jusqu'à la surface de la terre, et jaillissent quelquefois à de grandes hauteurs.

L'usage de la sonde pour la recherche des eaux souterraines remonte aux temps les plus reculés. La Syrie, l'Égypte, les oasis de l'ancienne chaîne libyque, présentent un certain nombre de puits obtenus à l'aide de ce procédé. Olympiodore, qui vivait à Alexandrie, en Égypte, au sixième siècle, dit que dans les oasis il existe des puits creusés à trois cents et même à cinq cents aunes (quarante-huit et quatre-vingts mètres), qui lancent des rivières à la surface du sol.

Depuis un temps immémorial, le forage des sources jaillissantes est pratiqué par les Chinois, cet étrange peuple qui, dans le mystère et le silence de son isolement, revendique une grande part dans toutes les inventions de l'esprit humain. Dans la province d'Outong-kiao, sur une étendue de dix lieues de longueur et de quatre de large, on a compté plus de dix mille puits, dont la profondeur pouvait atteindre quelquefois jusqu'à mille mètres.

Pour creuser ces puits d'une si grande profondeur, les Chinois emploient un appareil à percussion, dont on ne con-

naît pas bien toutes les dispositions. On sait seulement que l'instrument de forage est un *mouton*, c'est-à-dire un cylindre cannelé en fonte, pesant de un à trois quintaux, et qui est suspendu à une corde attachée à un arbre incliné, assujéti au sol par une de ses extrémités et ayant son autre extrémité libre. Des hommes font aller et venir le *mouton* au fond du puits, comme un pilon dans un mortier, en faisant ployer sous leur poids l'arbre incliné auquel il est suspendu, puis le laissant se redresser par son élasticité. La percussion du fond du sol ainsi produite le creuse avec assez de promptitude.

En Europe, dès le commencement des temps modernes, nous voyons l'usage des puits forés répandu dans le nord de l'Italie. Les armes de la ville de Modène sont deux tarières de fontainier, avec cette épigraphe : *Avia pervia*.

L'ouvrage le plus ancien dans lequel on trouve quelques données certaines sur l'emploi de la sonde pour le percement des puits est celui que publia, en 1691, Bernardini Ramazzini, professeur au lycée de médecine de Modène.

Dominique Cassini, appelé d'Italie en France par Louis XIV, y fit connaître les procédés dont il s'était servi, dans sa première patrie, pour construire les puits forés. Mais les anciens puits forés de l'Artois, qui subsistent encore aujourd'hui, témoignent que l'usage de la sonde était connu en France bien avant le xvii^e siècle.

Ce fut au temps de Louis le Gros, en 1126, que le premier puits artésien fut creusé dans le couvent des Chartreux de Lillers, dans le département actuel du Pas-de-Calais. Cette fontaine, qui n'a pas cessé de donner de l'eau jusqu'à nos jours, n'impose à la commune qu'une bien petite dépense : celle de remplacer tous les vingt-cinq ans le tubage en bois.

Bernard Palissy, l'illustre auteur des *Rustiques figulines*, dont nous avons cité les travaux et rappelé la destinée malheureuse, en parlant des poteries, a décrit un instrument qu'il avait conçu, et qui est l'analogue de notre *sonde artésienne*, ou mieux qui en est le premier rudiment.

« En plusieurs lieux, dit Bernard Palissy, les pierres sont fort tendres, et singulièrement quand elles sont encore dans la terre ; pour quoi il me semble qu'une torsière les percerait aisément, et après la torsière on pourrait mettre l'autre tarière et, par tel moyen, on pourrait trouver du terrain de marne, voire des eaux, pour faire puits,

lesquelles bien souvent pourraient monter plus haut que le lieu où la pointe de la tarière les aura trouvées, et cela se pourra faire moyennant qu'elles viennent de plus haut que le fond du trou que tu auras fait. »

Le premier puits artésien qu'on avait vu à Paris est, dit-on, celui que fit creuser Jacques Leborgne, dans l'hôpital des Enfants-Rouges, fondé par la duchesse d'Alençon, sœur de François I^{er}.

Depuis le premier quart du dix-neuvième siècle, le nombre des puits artésiens s'est considérablement accru en France et dans la plupart des pays de l'Europe. En 1818, la *Société d'encouragement pour l'industrie nationale* attira beaucoup l'attention sur ce système, en proposant des prix pour les meilleurs outils et instruments de forage. Hélicart de Thury et Degoussée se sont particulièrement distingués par leurs travaux théoriques et pratiques dans l'art du forage des puits. C'est grâce à leurs recherches que cette branche importante des arts mécaniques a reçu un degré de perfectionnement remarquable. En 1844, le succès du forage entrepris par Mulet, à Grenelle, excita un vif intérêt en France, et attira, non sans raison, l'attention et l'admiration publiques.



La géologie donne facilement l'explication théorique du jaillissement des eaux artésiennes.

Les eaux que la sonde fait jaillir des profondeurs à la surface du sol circulent généralement dans une couche de terrain perméable comprise entre deux couches imperméables. La couche perméable est sablonneuse ou formée de calcaire désagrégé, ou même composée de roches compactes, mais présentant des fissures profondes. Les couches imperméables sont de l'argile, du granit, de la marne, de la craie, ou toute autre roche compacte sans fissure.

Soit donc (fig. 361) une couche perméable *a b e c d*, comprise entre deux couches imperméables; elle absorbera continuellement les eaux pluviales par tout son pourtour extérieur *a d*, et se remplira dès lors, entre les deux couches imperméables, jusqu'à une certaine hauteur, au niveau *b c*, par exemple. Si l'on vient alors à percer tous les dépôts qui recouvrent la couche aquifère, quand la sonde aura atteint

cette couche, l'eau jaillira par le trou de sonde et s'élèvera, en vertu de la tendance qu'ont les liquides à se mettre en équilibre, ou au même niveau, dans les vases communiquants.

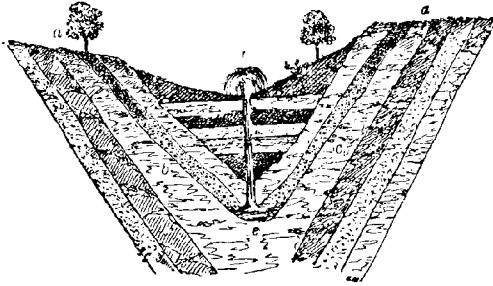


Fig. 361. Théorie des sources artésiennes.

de cette couche, *e*, crée une nouvelle branche *e t* au vase communiquant, branche par laquelle l'eau s'élève, pour atteindre le niveau de deux autres branches *a e, e d*.

Le cas du bassin bien clos et demi-circulaire, comme celui que nous venons de figurer, se rencontre rarement dans la nature. Le bassin, de forme plus ou moins irrégulière, est souvent coupé, interrompu par mille accidents de terrain, en sorte qu'une partie de la nappe d'eau souterraine s'échappe par des fissures latérales. Il en résulte que l'eau ne peut pas s'élever exactement à la hauteur de son point de départ, ou à la hauteur qu'elle occupe dans les branches du vase naturel qui la contient.

Le frottement que l'eau éprouve, avant d'arriver au trou de sonde, diminue également la hauteur de la colonne jaillissante. En effet, ces eaux se meuvent dans des canaux irréguliers et encombrés de débris qui leur opposent une grande résistance.

« Pour trouver des eaux jaillissantes, dit Degoussée, on devra rechercher des espaces plus ou moins encaissés dans des saillies dominantes, vers lesquelles les couches de la plaine se relèvent quelquefois de manière à présenter leur tranche. Il résulte en effet de cette disposition que les eaux extérieures, s'infiltrant dans les couches perméables, affleurent en venant s'appuyer sur les coteaux de bordure, et, suivant avec ces couches les inflexions du fond, sont d'autant plus susceptibles de remonter par les trous de sonde et de donner naissance à des puits artésiens, que les points d'infiltration sont plus élevés et les points de déperdition plus éloignés. »

L'un des puits artésiens les plus remarquables qui aient été pratiqués de nos jours est celui dit *de Grenelle*,

autrefois aux portes, aujourd'hui dans l'intérieur de Paris.

Les eaux qui alimentent cette belle source d'eau jaillissante coulent d'une couche embrassant une superficie d'environ soixante lieues de pays, et qui, partant de Langres, suit à peu près la direction de Bar-sur-Seine, Lusigny, Troyes, Nogent-sur-Seine, Provins. C'est à Langres qu'affleure une couche épaisse de sable vert, essentiellement perméable, qui descend sous Paris, et renferme une puissante nappe d'eau. Au-dessous de ces grès, sous Paris, se trouvent des couches de craie et

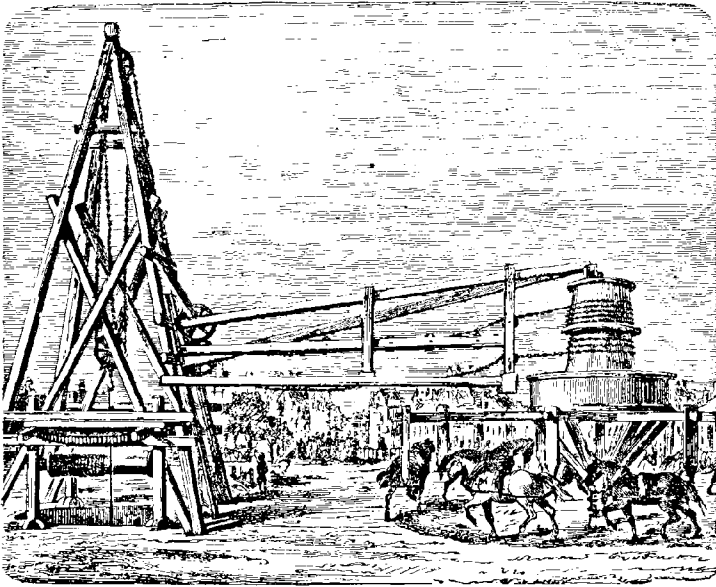


Fig. 362. Creusement du puits de Grenelle avec un manège de chevaux.

d'argile imperméables, qui affleurent en Champagne à une altitude plus grande que celle de Paris. Le plateau de Langres est parfaitement placé pour recueillir les eaux devant jaillir à une distance quelconque, et dont il est le point de départ, car son altitude au-dessus du niveau de la mer est de 473 mètres, tandis que celle de Paris n'est que de 60 mètres.

Arago avait calculé, d'une manière approximative, qu'à Paris l'épaisseur des couches à traverser pour atteindre les sables verts, c'est-à-dire la couche aquifère du plateau de Langres qui passe sous Paris, était de 460 mètres. D'après ces données, l'ingénieur-sondeur Mulot commença,

le 3 novembre 1833, le forage du puits de Grenelle.

Le creusement était opéré avec les outils ordinaires des sondeurs mus par un manège de chevaux, comme le représente la figure 362. En 1835, on avait atteint une profondeur de quatre cents mètres, par un travail très régulier; mais alors une cuiller, consistant en un cylindre en fer d'un poids énorme, étant tombée au fond du puits, on ne put l'en retirer

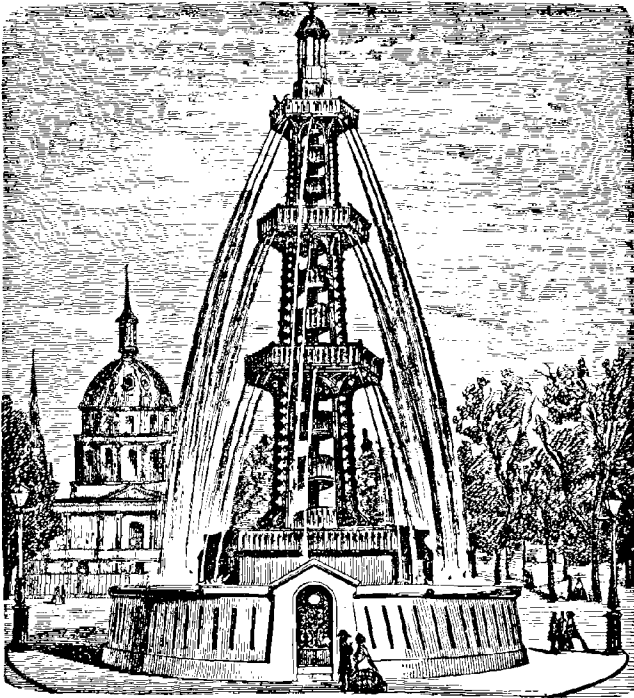


Fig. 363. La colonne monumentale du puits de Grenelle, à Paris.

que par morceaux. Ce travail, opéré avec les ciseaux et la lime, à une aussi grande profondeur, dura quatorze mois.

Le 26 février 1841, le forage étant arrivé à 548 mètres, un volume d'eau considérable en sortit.

Pendant près d'un an, le puits de Grenelle lança une énorme quantité de graviers, provenant de la dégradation de ses parois. Enfin, il se dévia de sa direction perpendiculaire, et lança néanmoins, en vingt-quatre heures, 4,500,000 litres d'une eau limpide dont la température était de $+ 27^{\circ}$.

Le jet de cette eau atteint aujourd'hui la hauteur de trente mètres au-dessus du sol. On a construit, au lieu d'émergence de cette source, une élégante colonne monumentale en fonte (fig. 363), du haut de laquelle se déverse la masse considérable d'eau qui jaillit des profondeurs du sol.

Héricart de Thury, dans son rapport du 8 avril 1840, avait annoncé quels seraient le nombre et la nature des couches à traverser, et à quelle profondeur on devait trouver l'eau. Il avait dit : L'eau jaillira de grès verts à 560 mètres environ, et elle parut à 540 mètres; — elle donnera 4,000 litres par minute, et elle donne 4,000 litres par minute; — elle aura une température de $+30^{\circ}$; elle sera douce, dissoudra parfaitement le savon, et conviendra à tous les usages domestiques. Toutes ces prédictions de la science furent confirmées.

Le puits qu'on a exécuté à Passy, près du bois de Boulogne, fut commencé en 1855, par M. Kind, ingénieur saxon.

La méthode appliquée à Passy ne fut pas la même que celle qu'on avait employée à Grenelle. A Grenelle, l'instrument de forage était une sorte d'énorme tire-bouchon supporté par des tiges de fer. A Passy, on se servit, pour creuser la terre, d'un trépan (fig. 364), armé de sept dents en

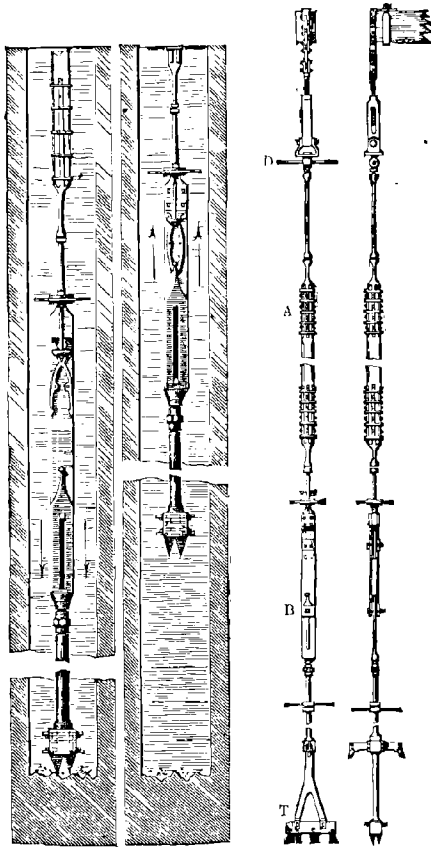


Fig. 364. Trépan employé pour le forage du puits de Passy.

acier fondu et pesant 1,800 kilogrammes. Le trépan était supporté par des tiges en bois de dix mètres de longueur vissées l'une à l'autre. L'ensemble de ces tiges et du trépan était suspendu à l'une des extrémités d'un balancier, à l'autre

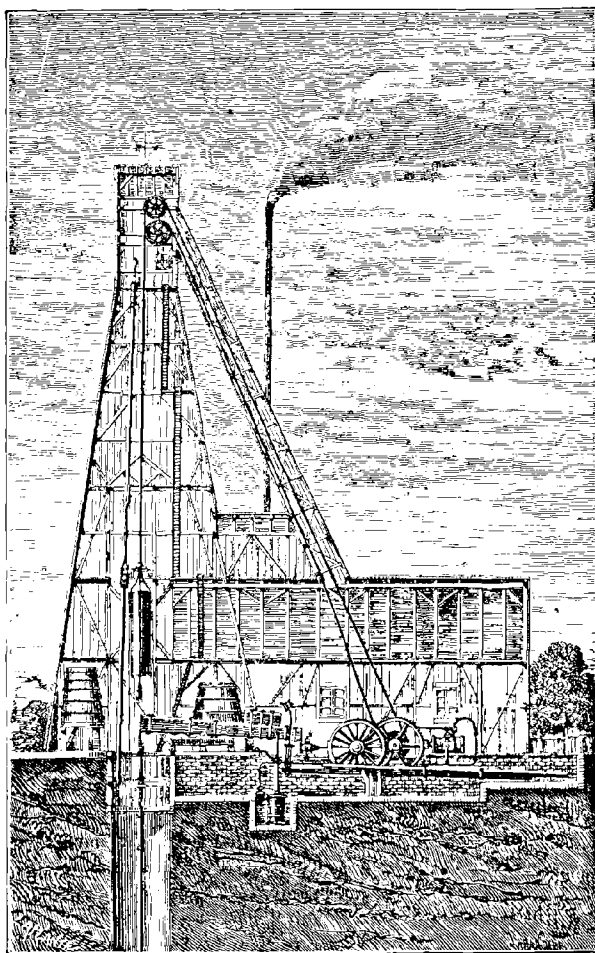


Fig. 365. Système de forage employé pour le puits artésien de Passy.
(Coupe du puits et vue du mécanisme moteur.)

extrémité duquel était attachée une tige s'adaptant au piston d'une machine à vapeur. A un certain moment et grâce à un déclié, D (fig. 364), que l'on détachait, le trépan, T, se séparait de la tige, et par la chute de cet énorme poids, la terre

était profondément creusée. Alors la tige AB descendait au fond du puits, et ressaisissait le trépan. Le tout était remonté à l'aide d'un câble plat enroulé sur un treuil mis en mouvement par la machine à vapeur.

Les détritns étaient retirés du puits au fur et à mesure que l'outil entamait la terre. On forait pendant six heures, ensuite on procédait au curage pendant le même temps.

On employait pour le curage un seau cylindrique en tôle, qu'on descendait au fond du puits, après en avoir retiré le trépan. Le fond du seau était formé de deux clapets s'ouvrant de dehors en dedans. Par le choc du seau contre le fond du puits, les matières boueuses ou pierreuses pénétraient dans son intérieur en ouvrant les clapets, qui se refermaient ensuite, sous le poids de ces mêmes matières.

La figure 365 montre en action les différentes opérations que nous venons de décrire.

Un accident survenu en 1857 retarda, pendant deux ans, la marche des travaux. Le forage ayant été repris en 1859, on rencontra la nappe aquifère à 576 mètres de profondeur; mais l'eau ne put arriver jusqu'à l'orifice du puits. On creusa plus avant, avec une nouvelle ardeur, et le 24 septembre 1861 une véritable rivière jaillit des profondeurs de la terre. Le volume d'eau débité était de 20,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. L'eau jaillissante était à la température de 28° centigrades.

Malheureusement, le débit du puits de Passy s'est beaucoup réduit avec le temps. Aujourd'hui il n'est plus que de 8000 mètres cubes par vingt-quatre heures. On réunit ses eaux à celles du réservoir de Chaillot.

Comme il fallait s'y attendre, le débit du puits de Grenelle subit le contre-coup de l'ouverture du puits de Passy. De 900 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures, le rendement du puits de Grenelle descendit à 777 mètres, où il est resté stationnaire.



XXVII

LES PONTS SUSPENDUS

Historique. — Construction des ponts suspendus. — Câbles. — Chaines. — Tablier. — Culées. — Épreuve d'un pont suspendu. — Ponts suspendus les plus remarquables. — Le pont de Fribourg, en Suisse ; de Menay, en Angleterre ; de Cubzac et de Rouen, en France ; du Niagara, en Amérique. — Catastrophe du pont de la Tay, en Écosse, le 28 décembre 1879. — Inconvénients et dangers des ponts suspendus.

Les ponts suspendus se composent de câbles ou de chaines de fer, tendus d'une rive à l'autre d'un fleuve ou d'une rivière, et supportant, au moyen de tiges de suspension, un tablier, qui donne passage aux piétons et aux voitures.

Les avantages de ces ponts sont leur position indépendante du lit des fleuves et des torrents impétueux, au-dessus desquels on n'aurait pu établir des piles de pierre ; la facilité, la promptitude et l'économie de leur construction ; enfin leur hardiesse, leur légèreté et leur élégance. Tandis que dans les ponts fixes la largeur des arches n'a jamais dépassé 60 mètres lorsque la voûte est en pierre, 73 mètres quand elle est en fer, et 119 mètres quand on emploie seulement le bois (ces nombres étant les limites maximum qu'il a été permis d'atteindre, mais en deçà desquelles on s'est presque toujours tenu), la portée des arches des ponts suspendus peut s'étendre jusqu'à 500 mètres. Ils franchissent les vallées les plus profondes et relient entre eux les faîtes les plus escarpés. D'autant plus solides et d'autant moins dangereux que leur portée est plus grande, ils deviennent, par la grâce et la légèreté de leurs courbes, l'ornement architectural des abîmes.

C'est à l'Asie que revient l'honneur de la construction des premiers ponts suspendus. Le voyageur Turner, dans la relation

de son ambassade au Tibet, parle d'un pont appelé *Chouka-Chazum*, et composé d'un plancher en bambou, appuyé sur cinq chaînes de fer. La longueur de ce pont était de 146 mètres.

L'*Histoire générale des voyages* parle de l'existence, en Chine, de deux autres ponts du même genre.

Ces ponts, que les écrivains chinois ont pittoresquement appelés *ponts volants*, sont souvent tellement élevés qu'on ne peut les traverser sans crainte. Un pont de cette espèce existe encore dans la province de Shenise : il s'étend d'une montagne à une autre, sur une longueur de 133 mètres dans le vide. De la surface des eaux, dans le fond du précipice, au tablier du pont, il y a 166 mètres. La plupart de ces *ponts volants* sont assez larges pour que quatre hommes à cheval puissent y passer de front : des balustrades solides et élégantes sont placées de chaque côté, pour la sécurité des voyageurs.

Il n'est pas impossible que les missionnaires chrétiens envoyés en Chine au commencement de notre siècle aient connu ce fait, et que ce renseignement communiqué aux ingénieurs européens soit devenu la cause première de l'introduction des ponts suspendus en Europe.

Depuis assez longtemps, dans l'Amérique du Sud, des ponts suspendus relient entre eux les hauts sommets des Andes et des Cordillères. De Humboldt traversa, en 1812, la rivière de Chambo sur un pont suspendu de 40 mètres de longueur. Dans ces contrées, où le fer est rare, les câbles sont construits avec des lianes, et les cordes sont fournies par les fibres de l'*Agave americana*.

Les ponts suspendus sont d'une date assez récente en Europe. Le plus ancien document qui s'y rapporte se trouve dans un *Recueil de machines*, publié à Venise en 1617. Deux planches de ce recueil représentent deux ponts suspendus, l'un fait en cordes, l'autre en chaînes de fer.

En 1741, un pont fut construit sur la Lees, entre les comtés de Durham et d'York. Un petit plancher de deux pieds de large, pour le passage des piétons, était porté sur deux chaînes de fer. Long de 70 pieds, il était muni seulement, d'un côté, d'une main courante. Suspendu à plus de 60 pieds au-dessus d'un torrent, il éprouve un balancement considérable.

Le premier pont suspendu établi d'après le système moderne fut construit par Findlen, en Amérique.

Après l'Amérique, l'Angleterre vit s'élever des ponts suspendus sur plusieurs points de son territoire.

Les guerres continuelles qui épuisèrent la France au commencement de notre siècle, arrêtant l'essor naturel de son industrie et l'isolant du mouvement des autres nations, retardèrent parmi nous la naturalisation des ponts suspendus. Le premier pont de ce genre fut établi en 1820, dans la petite ville d'Annonay, par les frères Seguin, neveux de Montgolfier. Ce pont n'était destiné qu'aux piétons ; mais les mêmes constructeurs eurent bientôt le mérite de jeter sur le Rhône, entre Tain et Tournon, le premier pont suspendu, propre à la circulation des voitures, qui ait été construit en France.

Depuis cette époque, les ponts suspendus remplacèrent presque partout les bacs dont on se servait pour traverser les rivières, et la France n'eut plus rien à envier, sous ce rapport, à l'Amérique ni à l'Angleterre.



Les *câbles* qui doivent servir à supporter le tablier d'un pont suspendu sont tendus d'un bord à l'autre du cours d'eau ou de la dépression qu'il s'agit de franchir, et supportent ce tablier. Ces câbles sont formés de fils de fer ayant tous la même longueur, non tordus ensemble, mais juxtaposés parallèlement, et reliés, de distance en distance, à l'aide de fils de fer recuits, qu'on nomme *ligatures*.

On doit donner aux câbles une dimension suffisante pour qu'ils supportent, sans chance de rupture, le poids des fardeaux accidentels qui peuvent se présenter. Il faut tendre d'une manière égale tous les fils, de peur qu'un petit nombre seulement supportant l'effort, ils ne se rompent et ne déterminent ainsi la chute du pont. Il faut avoir soin de faire bouillir les fils dans un mélange d'huile et de litharge, et de les recouvrir ensuite de plusieurs couches de peinture à l'huile, lorsqu'ils sont réunis pour former le câble, afin de les mettre à l'abri de l'oxydation.

Les câbles en fils de fer se fabriquent facilement et on les emploie très généralement en France.

Les *chaînes*, dont le rôle est le même que celui des câbles, sont formées de barres de fer forgé, reliées entre elles par des

boulons. Le forgeage de ces barres de fer doit être fait avec le plus grand soin, car il suffit d'un grave défaut dans l'une de ces pièces pour que sa rupture entraîne la chute du pont. C'est là le grand inconvénient des chaînes. Quoi qu'il en soit, elles sont presque exclusivement usitées en Angleterre, et leur usage tend même à se substituer en France à celui des câbles, quand il ne s'agit pas seulement de passerelles, mais de ponts que doivent traverser des voitures lourdement chargées.

Le *tablier* se partage en une chaussée pour les voitures et en deux trottoirs placés de chaque côté pour le passage des piétons. Il se compose de traverses soutenues aux deux bouts par les tiges de suspension. Les traverses sont reliées par les longuerines formant le trottoir. La liaison des traverses est très importante, elle a pour but d'éviter les ondulations produites par le passage des voitures, en répartissant leur poids sur un plus grand nombre de tiges.

Le plancher de la chaussée est formé de forts madriers fixés sur les traverses et dans le sens perpendiculaire au leur, et de planches clouées sur les madriers en travers du pont. Le plancher des trottoirs est formé de planches clouées sur les longuerines qui se trouvent au bout des traverses et sur celles qui bordent la chaussée.

Plus la courbure des chaînes est oblique par rapport au sol, moins l'effort que les chaînes ou les câbles ont à supporter est considérable. C'est pour cela qu'on élève beaucoup les points d'appui des ponts suspendus, afin de donner aux chaînes la plus grande courbure possible. Les points d'appui sont des massifs en maçonnerie ou des colonnes de fonte. En général, il y en a deux placés sur les rives, et quelquefois un troisième établi au milieu de la rivière et qui prend le nom de *pile*. Au delà des points d'appui fixés sur les deux rives, les chaînes s'infléchissent vers le sol, où elles se fixent à des massifs de maçonnerie appelés *culées*. Ces chaînes, qui se dirigent dans un sens inverse de celui du pont, sont dites *chaînes de retenue*. Grâce à cette ingénieuse disposition, la résistance de tous les efforts transmis le long de la chaîne est dirigée dans le sens des points d'appui, et tend non pas à les renverser, mais à les écraser, ce qui n'est pas facile. Les chaînes se fixent définitivement dans des chambres souterraines.

Les ponts suspendus ne sont jamais livrés à la circulation sans avoir été soumis à une épreuve préalable, dans laquelle ils doivent supporter une charge dépassant de beaucoup celle qu'ils supporteraient s'ils étaient couverts d'hommes se cou-

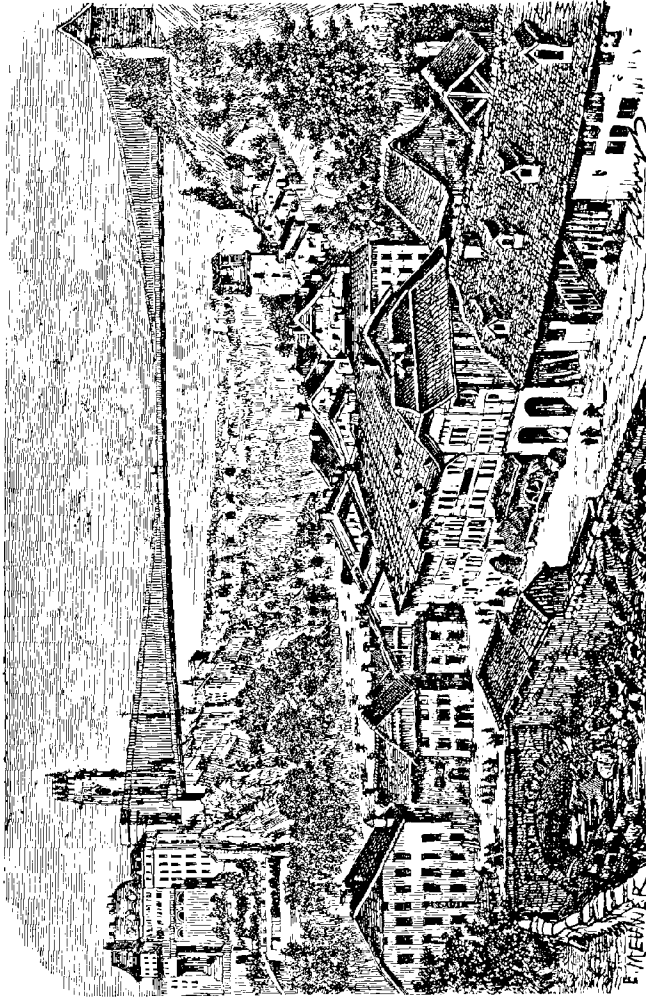


Fig. 366. Le pont suspendu de Fribourg.

doyant les uns les autres. On exige, en effet, qu'un pont suspendu puisse soutenir, pendant vingt-quatre heures, la charge de 200 kilogrammes par mètre de surface ; or, des hommes se coudoyant n'y produiraient en moyenne qu'une charge de

170 kilogrammes ; et l'ouragan le plus furieux ne produirait pas plus d'effet qu'une charge de 68 kilogrammes. Cependant, afin de ne pas trop ébranler les matériaux de construction, on permet pour six mois le passage sur le pont, après qu'il a subi une épreuve moitié moindre, dans laquelle le tablier est chargé seulement de 100 kilogrammes par mètre carré. Mais après le délai fixé par cette autorisation provisoire, l'épreuve entière doit être faite.



Parmi les ponts suspendus les plus remarquables de l'Europe on peut citer ceux de Fribourg, en Suisse ; de Menay, en Angleterre ; de Cubzac et de Rouen, en France.

Le pont de Fribourg (fig. 366), jeté sur une profonde vallée, n'a qu'une seule travée de 265 mètres de longueur, et les chaînes sont amarrées dans le roc. Celui de Menay, en Angleterre, possède trois travées ; il est élevé d'à peu près 30 mètres au-dessus de la mer, et les bâtiments à voiles peuvent passer dessous. Le pont de Cubzac, en France, a cinq travées et 500 mètres de longueur. Il est supporté par des colonnes de fonte et donne, comme le précédent, passage aux navires. Le pont de Rouen possède une arche en fonte, très élevée et située au milieu de la Seine ; on la franchit à l'aide d'un pont-levis qu'on soulève lors du passage des navires. Les massifs de maçonnerie qui supportent cette arche sont assez écartés l'un de l'autre pour livrer passage aux plus larges des vaisseaux qui fréquentent le port.

L'un des plus beaux ponts suspendus du monde entier est celui qui fut jeté, en 1859, pour relier les deux rives du Niagara, à quelque distance des célèbres chutes de ce grand fleuve. Ce pont suspendu (fig. 367) est à deux étages : l'un supporte la voie du chemin de fer, l'autre est destiné aux voitures et aux piétons.

Le pont suspendu le plus long que l'on ait encore construit est l'immense pont-viaduc qui fut inauguré le 20 octobre 1878, et qui réunissait les deux rives de l'embouchure de la Tay, fleuve de l'Écosse qui se jette dans la mer du Nord.

L'embouchure de la Tay forme un vaste estuaire, le *Firth of Forth*, d'environ deux kilomètres et demi de largeur, que le chemin de fer franchissait sur le pont suspendu jeté par-

dessus la mer. Du côté sud de la baie se trouve la station de Saint-Fort; du côté nord, le port de Dundee.

Le pont-viaduc jeté à l'embouchure de la Tay était en fer et sa longueur était de 3200 mètres, longueur supérieure à celle de tous les ponts-viaducs qui eussent encore été construits. 25 arches entraient dans sa composition et chaque arche élevée de 26 mètres au-dessus de l'eau, ce qui permettait aux plus grands navires de passer sous ses arches toutes voiles déployées.

Ce pont, une des merveilles de l'art de la construction moderne, a été emporté, le 28 décembre 1879, sans laisser de trace, par une des plus terribles tempêtes qui se soient déchaînées sur l'Écosse. On s'occupe de le reconstruire en lui donnant toutes les garanties de solidité reconnues indispensables par le terrible événement dont il a été le théâtre et la victime.

La défaveur sensible qui est jetée aujourd'hui sur les ponts suspendus ne tient pas uniquement à la rupture arrivée à quelques-uns. Ces ponts, en raison de leurs points de support insuffisants, sont sujets à des oscillations qui les ont fait rejeter de la construction de la plupart des chemins de fer. Le moyen qu'on a proposé pour éviter les oscillations trop fortes consiste dans l'emploi de deux chaînes placées dans un plan vertical et reliées par des barres rigides et diagonales.

Vingt administrations de chemins de fer ont été consultées sur l'efficacité de ce moyen. Onze ont absolument rejeté l'emploi des ponts suspendus, par les raisons que voici : 1° Toutes les modifications proposées n'ont pas d'autre but que de transformer ces ponts en un grillage rigide, et dans ce cas, il vaut mieux construire des ponts aux parois en tôle ou en treillis de fer ; 2° les ponts suspendus offriront toujours une grande incertitude dans l'appréciation des tensions et dans la recherche des parties défectueuses ; 3° enfin, les systèmes de suspension connus jusqu'ici ne présentent pas une rigidité suffisante.

Les autres administrations ont demandé un essai préalable du nouveau système des quatre chaînes.

En résumé les ponts suspendus n'inspirent plus la même confiance qu'autrefois, et leur emploi tend à se réduire de jour en jour.



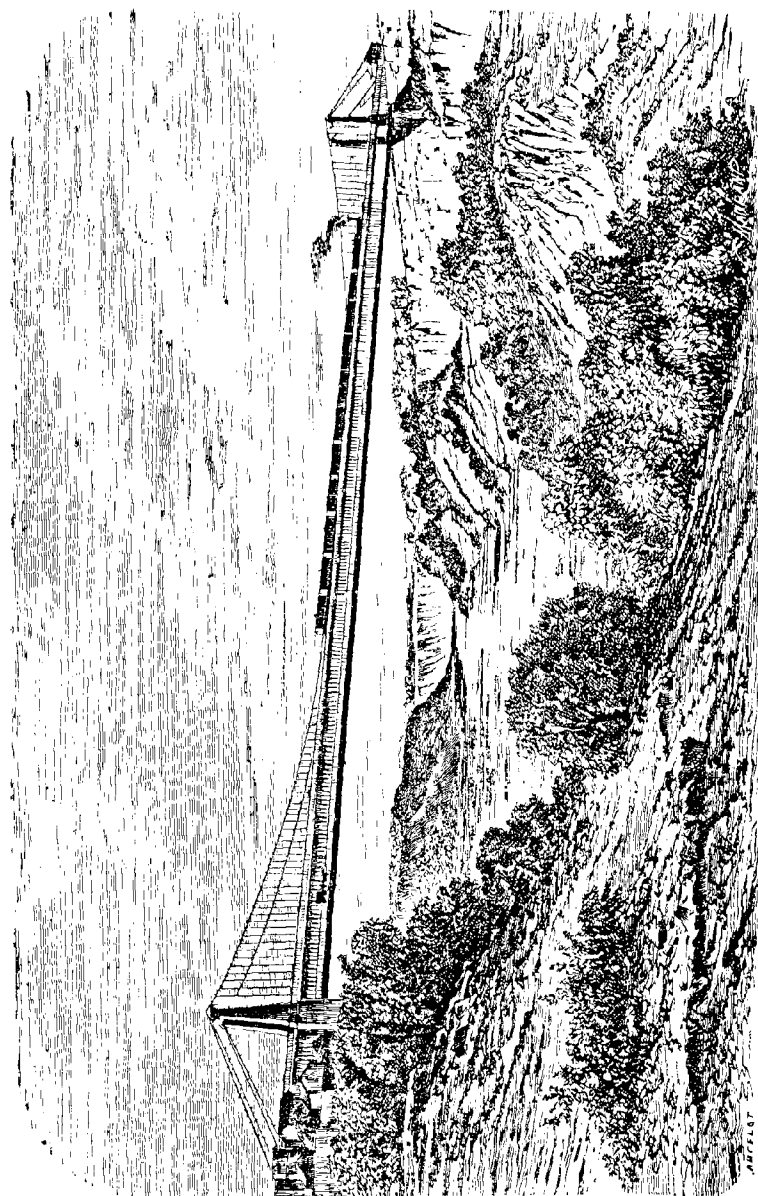


Fig. 367. Le pont suspendu du Niagara.

XXVIII

LE MÉTIER JACQUARD

Comment se fabriquaient, à la fin du siècle dernier, les étoffes façonnées.
— Le *tireur de lacs*. — Enfance et vie de Jacquard. — Vaucanson invente le métier à tisser. — Jacquard perfectionne le métier de Vaucanson par l'invention des cartons. — Description du métier Jacquard.
— Importance de la découverte de Jacquard.

Un tissu ordinaire, la toile par exemple, se compose de fils croisés alternativement les uns sur les autres. Pour que ce croisement s'effectue d'une manière prompte et exacte, il faut que, par un moyen mécanique, les fils qui sont tendus sur toute la longueur de l'étoffe, et que l'on appelle *fils de la chaîne* , se trouvent séparés deux à deux, de manière que la moitié soit en haut et la moitié en bas, afin que l'on puisse lancer et faire passer, en travers de la double rangée des *fils de la chaîne* , un autre fil, celui de la *trame* .

Tel est le principe des métiers de tissage, quand ils ne doivent être employés que pour la confection d'étoffes à tissu simple ; mais quand il s'agit d'étoffes façonnées, et particulièrement d'étoffes à couleurs variées, la question est beaucoup plus compliquée. Il faut, non seulement que des crochets saisissent en temps opportun ceux des fils de la chaîne qui se rapportent au dessin par leur couleur et leur position, mais encore que les navettes changent elles-mêmes, et qu'une trame particulière vienne réunir tous ces fils entre eux, après qu'ils ont été tissés suivant le dessin.

Avant Jacquard, les étoffes façonnées, les tissus à dessins, se faisaient en Europe comme on les fait encore aujourd'hui dans l'Inde. Pour chaque métier il fallait trois ouvriers : un *liseur de dessin* , un *tireur de lacs* ou *de fils* , et un *tisserand* ou *tisseur* .

Voici comment le travail s'exécutait :

On représentait le modèle du dessin à reproduire sur un grand tableau divisé en une multitude de carrés, comme une table de Pythagore. Les lignes horizontales de ce tableau répondaient à la chaîne du tissu, les autres à la trame ; les petits carrés figuraient les points que les fils de l'étoffe forment en s'entre-croisant. Un signe sur le tableau indiquait s'il fallait élever ou abaisser le fil de la chaîne.

Quand tout se trouvait ainsi disposé, le *liseur* se plaçait debout devant le tableau et commandait la manœuvre. Assis devant le métier, le *tisserand* avait sous la main une navette chargée de différentes couleurs qui devaient servir à former la trame ; le *tireur de lacs*, ou *de fils*, se tenait prêt à élever ou à abaisser les fils de la chaîne. Alors le *liseur*, suivant de gauche à droite une des rangées horizontales du tableau, disait au *tireur de lacs* : Levez tel ou tel fil. Quand le fil indiqué avait été élevé, il disait au *tisseur* : Lancez cette couleur ; et le tisseur lançait la navette chargée de la couleur désignée.

Dans la fabrique lyonnaise, le travail du *liseur* était souvent confié à une femme ; quant au *tireur de lacs*, c'était toujours un enfant.

C'était une triste et lamentable destinée que celle du pauvre enfant chargé de ce pénible travail. Quand on entrait, au commencement de notre siècle, dans un atelier de tissage de soieries, on voyait, au milieu d'un labyrinthe de cordes de toutes dimensions et de fils de toutes couleurs, enchevêtré dans une infinité d'outils, d'aiguilles, de crochets, de poinçons, de ressorts et de poulies, apparaître un malheureux enfant, les joues hâves, l'œil creusé et les membres amaigris. C'est au milieu de cette cage d'instruments et de fils, enveloppé d'un réseau de cordes, qu'il devait tour à tour élever, abaisser, tirer ou croiser, et qui le forçait de plier incessamment son faible corps aux positions les plus difficiles et les plus pénibles, que le pauvre enfant, *tireur de lacs*, passait sa misérable existence.

Jacquard, né à Lyon en 1732, était le fils d'un maître-ouvrier en soie, et sa mère était employée dans l'atelier comme *liseuse* de dessins.

A vingt ans, il perdit son père et n'eut pour tout héritage que son métier à tisser. De relieur qu'il était, il se fit tisse-

rand. A l'époque de la Révolution, il partit, pour défendre son pays. Ayant vu tuer son enfant à ses côtés, il revint à Lyon, il perdit sa femme et demeura ainsi seul. Le jour il travaillait pour vivre, la nuit il s'occupait de la réalisation de ses idées sur le tissage.

Ce fut sans doute l'impression profonde que produisit sur l'âme du jeune Jacquard le douloureux spectacle des jeunes *tireurs de lacs*, qui lui inspira le désir d'améliorer un système si barbare, et qui conduisit le grand artisan lyonnais à la découverte qui immortalisa son nom.

Nous ne rappellerons pas ici les incidents curieux et touchants de la suite de la carrière de cet artisan de génie, ses luttes multipliées, le simple et admirable désintéressement dont il fit preuve, et les injustices qu'il eut à subir de la part de citoyens ingrats. Disons seulement que le nom de Jacquard est demeuré dans les souvenirs du peuple comme le type du génie industriel; et cet hommage est bien légitime, puisque ce grand inventeur puisa le principe de sa découverte dans sa pitié pour les enfants du peuple.

Napoléon I^{er} appela Jacquard à Paris, pour avoir connaissance de son invention, et il décora de ses propres mains

l'inventeur lyonnais. Jacquard obtint la grande médaille de la *Société d'encouragement* et une gratification de trente mille francs. Il mourut en 1834, dans les environs de Lyon.

Essayons d'indiquer le principe du métier Jacquard, et l'artifice au moyen duquel l'inventeur, supprimant le système compliqué et grossier qui était en usage avant lui pour le tissage des étoffes façonnées, put faire disparaître, en la rendant



Fig. 368. Jacquard.

inutile, la triste et dangereuse profession de *tireur de lacs*.

Vaucanson avait inventé et proposé une machine qui abrégait considérablement le travail du tissage. Mais les corporations ouvrières de la ville de Lyon, par suite des préjugés et des craintes que l'ignorance du vulgaire entretenait alors contre l'emploi des machines, s'étaient fortement opposées à son adoption, de sorte que son usage s'était fort peu répandu. La machine de Vaucanson avait, d'ailleurs, l'inconvénient de ne pouvoir produire que de très petits dessins, des fleurs ou des figures uniformes et de médiocre dimension.

Vaucanson, né à Grenoble en 1709, était un mécanicien d'un grand mérite. Ses automates, devenus populaires, sont les moindres de ses inventions.

Voici quelle était la disposition de la machine de Vaucanson, que l'on peut examiner dans les salles du Conservatoire des arts et métiers de Paris, où elle figure parmi les anciens appareils de tissage.

Vaucanson attachait tous les fils de la chaîne de l'étoffe, au moyen d'un petit œil de verre appelé *maillon*, à une mince ficelle, et chacune de ces ficelles fut fixée à une légère aiguille de fer. Il réunit par le haut toutes ces aiguilles, qui formèrent une sorte de parallélogramme, au-dessus duquel il plaça un cylindre de même dimension, qui était percé de trous régulièrement disposés. Ce cylindre était mobile et tournait après chaque coup de navette. Les trous disposés sur le cylindre correspondaient aux fils de la chaîne qui devaient être levés pour former le dessin.

Au moment de l'exécution du dessin, le cylindre tourne, et en même temps toutes les aiguilles de fer correspondant aux fils de la chaîne sont poussées chacune par un petit ressort, et rencontrent, par conséquent, le plein ou le vide du cylindre, selon qu'elles arrivent ou non devant l'un des trous dont le cylindre est pourvu. Les aiguilles qui trouvent le plein s'arrêtent et laissent les fils qu'elles soutiennent dans une position horizontale. Les aiguilles qui trouvent le vide entrent dans le cylindre et obligent les têtes des crochets qui soutiennent les fils de la chaîne à se présenter aux lames de fer, qui les soulèvent par le mouvement de bas en haut, que leur donne le tisserand. Les fils sont ainsi soulevés d'après les trous des cartons qui forment le dessin. C'est alors que la navette

porte la trame au travers de ces fils, les uns soulevés, les autres droits, qu'elle s'y enchevêtre et qu'elle trace sur l'étoffe les dessins dont on veut l'enrichir.

Le cylindre percé de trous, imaginé par Vaucanson pour faciliter le tissage des étoffes façonnées, était une invention fort remarquable en elle-même, et où l'on trouve toute la simplicité qui distinguait le génie de ce grand mécanicien.

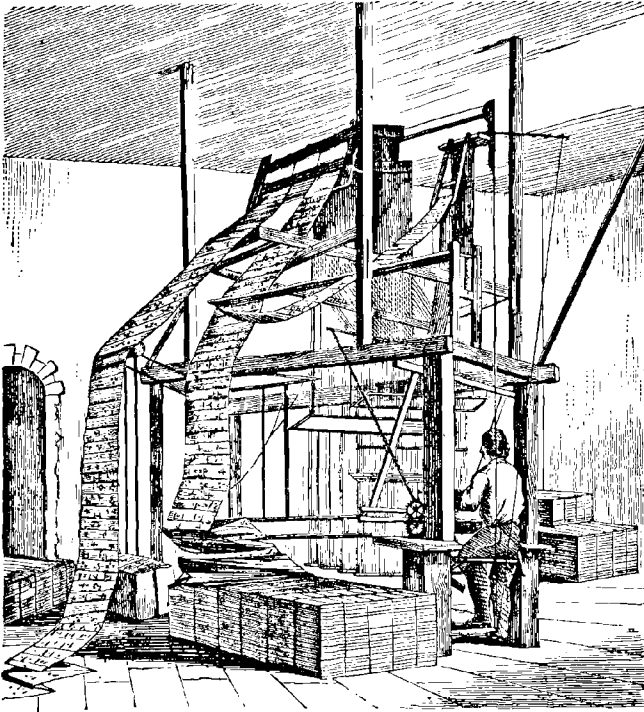


Fig. 369. Le métier Jacquard.

Mais cet appareil offrait un grave inconvénient. Le cylindre, qui devait recevoir tout le dessin à tracer sur l'étoffe, ne pouvait naturellement dépasser certaines dimensions. Il ne permettait donc qu'un certain nombre de coups de navette, et l'on ne pouvait former ainsi que de petits dessins, des fleurs par exemple. Pour obtenir des dessins plus considérables, il aurait fallu employer un cylindre d'une dimension extraordinaire et hors des conditions de la pratique ou de l'économie.

Perfectionnant cette machine de Vaucanson, Jacquard eut l'idée admirable de remplacer le cylindre, dont les dimensions sont nécessairement limitées, par une série de bandes de papier ou de carton sur lesquelles serait tracée la représentation ou la traduction du dessin à exécuter, et dont le développement considérable permettrait de composer des dessins de toutes les dimensions. Jacquard remplaça donc par une série de cartons d'une surface presque sans limites le cylindre à surface limitée dont Vaucanson avait fait usage.

Sur le cylindre de Vaucanson, Jacquard fit passer des bandes de carton attachées l'une à l'autre et qui venaient s'interposer successivement entre le cylindre et la partie supérieure des petites tiges de fer, appelées *aiguilles*, qui soutenaient par des crochets les fils de la chaîne.

Les bandes de carton percées de trous, qui constituent la partie essentielle de l'invention de Jacquard, ne sont donc autre chose que des types qui doivent produire le dessin sur l'étoffe. Percées de trous faits à l'emporte-pièce, elles sont égales en nombre aux coups de navette que nécessite l'exécution de ce dessin. Toutes ces bandes de carton sont enlacées l'une à l'autre, dans un ordre fixe, invariable, noté à l'avance, et qui doit être conservé sous peine de tout brouiller. Repliés l'un sur l'autre, les cartons sont déposés dans une cage, près du métier, puis passés par-dessus le cylindre. Tout le reste du travail s'exécute comme nous l'avons indiqué plus haut, à propos de l'appareil de Vaucanson, qui fut conservé en entier par Jacquard pour cette partie du mécanisme.

Grâce à l'invention admirable de Vaucanson et de Jacquard, le tisseur de soie put dominer sa machine, au lieu d'être asservi par elle. A partir de ce moment, l'emploi de *tireur de lacs* fut supprimé dans tous les ateliers, et les enfants furent soustraits à un travail meurtrier.

La découverte de l'immortel tisserand lyonnais a accompli des prodiges ; l'influence qu'elle a exercée sur l'industrie du tissage de toutes les étoffes peut à peine s'imaginer.



XXIX

LE DRAINAGE

Objet du drainage; ses bons effets. — Résumé historique. — Les fossés souterrains de l'agriculture romaine. — Olivier de Serres, en 1600, décrit la manière de dessécher les terres humides au moyen de rigoles d'écoulement. — Walter Bligh et Elkington. — Le drainage adopté en Angleterre, en Belgique et en France. — Sols qu'il convient de drainer. — Signes extérieurs du besoin du drainage. — Manière d'exécuter un drainage. — Sondage. — Tracé. — Creusage et profondeur des drains. — Composition des drains. — Tuyaux. — Machines à fabriquer les tuyaux de drainage.

Donner aux eaux stagnantes qui imbibent les terres un écoulement régulier, sans produire néanmoins une dessiccation complète, tel est le but de l'opération connue sous le nom de *drainage*.

Le mot *drainage* dérive du verbe anglais *to drain*, qui signifie *égoutter, dessécher au moyen de conduits souterrains*.

L'eau qui demeure en stagnation, soit à la surface du sol, soit au-dessous de cette surface, nuit considérablement au développement des plantes. C'est là un fait bien connu. Le drainage, en donnant un écoulement à cette eau, doit donc produire un assainissement très efficace du sol.

Dans les quelques lignes que nous allons rapporter, un avocat de Bordeaux, M. Martinelli, a fait comprendre d'une manière aussi simple qu'heureuse le but et l'utilité du drainage.

« Prenez ce pot de fleurs, dit M. Martinelli; pourquoi ce petit trou au fond? Je vous demande cela parce qu'il y a toute une révolution agricole dans ce petit trou. Il permet le renouvellement de l'eau, en l'évacuant à mesure. Et pourquoi renouveler l'eau? Parce qu'elle donne la vie ou la mort: la vie, lorsqu'elle ne fait que traverser la couche de terre, car d'abord elle lui abandonne les principes fécondants qu'elle

porte avec elle, ensuite elle rend solubles les éléments destinés à nourrir la plante ; la mort, au contraire, lorsqu'elle séjourne dans le pot, car elle ne tarde pas à corrompre et à pourrir les racines, et puis elle empêche l'eau nouvelle d'y pénétrer. »

Par l'opération du drainage, on ménage, dans chaque champ ce *petit trou* du pot à fleurs. Il est représenté par des tuyaux en poterie, que l'on place dans les fossés ou tranchées, c'est-à-dire dans les *drains*, creusés sous les terres à assainir. Les tuyaux communiquent les uns avec les autres, et débouchent à l'air libre, au point le plus bas de chaque réseau de rigoles. L'eau qui imprègne le sol arrive, en filtrant à travers les couches de sable, de gravier ou de calcaire, jusqu'aux tuyaux de terre cuite ; elle s'y introduit à travers les joints qui existent entre leurs extrémités, et s'écoule, selon la pente du sol, par l'extrémité la plus basse de la ligne des drains.

Il résulte d'un drainage bien fait que les eaux de pluie s'écoulent rapidement à travers le sol, et que le niveau des eaux stagnantes s'abaisse. Dès lors, une moindre évaporation se faisant à la surface de la terre, la chaleur du sol s'accroît, car l'eau, pour passer de l'état liquide à l'état de vapeur, a besoin d'une grande quantité de chaleur. En outre, un sol drainé a moins de tendance à se fendre, et il se conserve frais pendant l'été. Les eaux de pluie, étant rapidement absorbées, ne peuvent plus dégrader la surface des terres labourables, et entraîner au loin les principes utiles des fumiers. Les terres humides drainées peuvent être labourées presque en toute saison. L'époque de la maturité des récoltes est considérablement rapprochée. Ajoutons qu'il se fait sans cesse autour des racines un renouvellement d'air et d'eau, c'est-à-dire des principes les plus nécessaires à l'alimentation des plantes. En effet, l'eau qui imbibe le sol, et qui s'écoule peu à peu dans les tuyaux, est immédiatement remplacée par de l'air atmosphérique, et celui-ci par de l'eau, laquelle à son tour est remplacée par un volume égal d'air, et ainsi de suite.

L'assainissement du climat est une des heureuses conséquences du drainage. Les fièvres intermittentes épidémiques ont disparu dans plusieurs localités après l'exécution de grands travaux de drainage. On voit donc quel ensemble varié d'a-

vantages procure cette opération agricole, dont l'application générale a été un véritable bienfait public.



Chez les Romains, le premier auteur qui ait parlé des rigoles souterraines est Columelle, savant agronome qui vivait l'an 42 de Jésus-Christ, et qui publia un traité en douze livres intitulé *De re rustica*.

« Si le sol est humide, dit Columelle, il faudra faire des fossés, pour le dessécher, et donner de l'écoulement aux eaux. On fera pour les fossés cachés des tranchées de trois pieds de profondeur, que l'on remplira jusqu'à moitié de petites pierres ou gravier pur, et on recouvrira le tout avec la terre tirée du fossé. »

Palladius, agronome qui a écrit longtemps après Columelle, a donné aussi une description des fossés souterrains. Le drainage pratiqué à l'aide des fossés couverts, contenant des matériaux perméables, n'est donc point une invention tout à fait moderne.

Olivier de Serres, le père de l'agriculture française, dont le *Théâtre de l'agriculture* a été imprimé en 1600, va plus loin que Columelle. Il donne une des-



Fig. 370. Olivier de Serres.

cription complète du drainage, tel à peu près qu'on l'exécute de nos jours, et il recommande expressément son usage.

Le capitaine Walter Bligh, en Angleterre, reproduisit, dans notre siècle, les principes exposés par Olivier de Serres. Ses compatriotes ont même voulu lui accorder l'hon-

neur d'avoir le premier eu l'idée des tranchées profondes.

Un autre Anglais, Elkington, praticien éclairé et persévérant, employa une méthode qui ne diffère que bien peu de celle d'Olivier de Serres. La *méthode Elkington* consiste dans l'emploi simultané des fossés couverts et des puits.

Mais une invention d'une importance capitale, et dont l'honneur revient à bon droit à l'Angleterre, c'est la substitution des tuiles, ensuite des tuyaux, aux matériaux qu'on employait anciennement pour remplir le fond des fossés d'assainissement. L'invention et l'emploi d'outils convenables pour ouvrir les tranchées, de machines propres à fabriquer les tuyaux, la rapidité et le peu de frais des opérations exécutées avec le secours de ces machines, ont rendu le drainage plus applicable et, par suite, plus général. Aujourd'hui on ne pourrait presque nulle part fouiller le sol de la Grande-Bretagne sans y rencontrer des tuyaux de drainage.

A la Belgique revient l'honneur d'avoir introduit sur le continent le drainage perfectionné par les procédés imaginés en Angleterre.

En France, des propriétaires éclairés, entre autres M. le marquis de Bryas, ont fait de louables efforts pour populariser le drainage. Grâce à leur dévouement, au concours des sociétés savantes, à l'appui et aux encouragements du gouvernement, nous n'avons plus rien à envier à l'Angleterre ni à la Belgique en ce qui concerne cette grande opération, dont les conséquences sont incalculables pour l'accroissement de la valeur des terres cultivées.



Quelles sont les terres auxquelles convient particulièrement le drainage ?

Les terres sur lesquelles le drainage s'applique avec utilité sont les *terres froides*, c'est-à-dire qui reposent sur un sous-sol imperméable, et les *terres fortes*, c'est-à-dire celles où domine l'élément argileux.

Les terres froides sont dans le cas d'un pot à fleurs dont le fond ne serait pas percé. Leur état constant d'humidité est très défavorable à la végétation. Les racines y pourrissent ; à la plus légère gelée, une croûte de glace s'attache autour des

jeunes plantes ; une évaporation constante refroidit le sol. Les plantes qui n'ont pas été détruites par la gelée végètent languissamment, mûrissent mal, et les récoltes peuvent être complètement compromises dans les années pluvieuses.

Les terres fortes, ou argileuses, ne laissent pas assez facilement pénétrer l'eau pluviale qui tombe à leur surface, et la retiennent trop fortement lorsqu'elles en sont imprégnées. Les vents et le soleil les durcissent et arrêtent la végétation. Les pluies accidentelles ravinent leur surface, et entraînent les engrais le long des pentes ; les pluies continues les imbibent complètement ; l'eau y est fortement retenue, et les dommages causés par l'évaporation et les gelées s'y font cruellement sentir. Elles opposent, en outre, de grandes difficultés à la culture. En résumé, tout terrain où l'eau séjourne soit à fleur de terre, soit à une petite profondeur, demande à être assaini ou drainé, car ces deux expressions signifient la même chose.

« Partout, dit M. Barral, où, quelques heures après une pluie, on aperçoit de l'eau qui a séjourné dans les sillons ; partout où la terre est forte, grasse, où elle s'attache aux souliers, où le pied soit des hommes, soit des chevaux, laisse après le passage des cavités dans lesquelles l'eau demeure comme dans de petites citernes ; partout où le bétail ne peut pénétrer après un temps pluvieux sans s'enfoncer dans une sorte de boue ; partout où le soleil forme sur la terre une croûte dure, légèrement fendillée, resserrant comme dans un étai les racines des plantes : partout où l'on voit les dépressions du terrain notablement plus humides que le reste des pièces, trois ou quatre jours après les pluies ; partout où un bâton enfoncé dans le sol, à une profondeur de quarante à cinquante centimètres, forme un trou qui ressemble à une sorte de puits, au fond duquel l'eau stagnante s'aperçoit, on peut affirmer que le drainage produira de bons effets. »

L'aspect de la végétation est aussi un excellent indice de la nécessité du drainage. Les bonnes plantes sont chassées de ces terres inhospitalières, où croissent uniquement les plantes des marais, que le sarclage ne saurait faire disparaître, mais que le drainage anéantira. Telles sont les prêles, les renouées, les menthes ou baumes sauvages, les iris jaunes ou glaïeuls des marais, les laïches, les scirpes, les joncs, les renoncules, le colchique d'automne, dont les feuilles ressemblent de loin à celles d'un gros poireau et dont les fleurs présentent un long entonnoir d'un lilas tendre, que les animaux ont la prudence de ne pas brouter, etc., etc. On a remarqué

que dans un pâturage humide il n'y a que deux plantes que les animaux mangent avec plaisir, et que ces deux plantes sont dans une proportion insignifiante par rapport aux autres espèces mauvaises qui étouffent ces pauvres nourrices : ces deux plantes sont la flouve odorante et le trèfle.



Nous allons décrire rapidement la série d'opérations qu'il faut exécuter pour drainer un terrain.

On commence par pratiquer des sondages, qui servent à faire connaître la nature du sous-sol, sa consistance, son degré de perméabilité, enfin l'épaisseur des couches de terrain et la manière dont elles sont superposées.

Pour sonder, on creuse, à la pioche ou à la bêche, des fossés de 1^m,50 à 1^m,80, dans diverses parties du terrain à drainer. Cette opération préliminaire permet de saisir les difficultés plus ou moins grandes que nécessitera le creusement des tranchées, et de déterminer approximativement, par avance, les frais du travail d'assainissement.

Quand ces premières études sont terminées, on dresse le plan du terrain. On cherche, par le nivellement, son relief exact, de manière à pouvoir, sans se tromper, placer les drains dans la direction des plus grandes pentes pour faciliter l'écoulement de l'eau. En effet, la pesanteur étant la seule force qui détermine l'écoulement de l'eau à travers les drains, l'inclinaison des lignes de tranchées doit favoriser cet écoulement.

Un réseau de drainage se compose de fossés couverts de diverses grandeurs. Les plus petits de ces fossés sont appelés *petits drains* ; ceux qui reçoivent directement les eaux des petits drains sont nommés *collecteurs de premier ordre* ; ceux qui reçoivent les eaux des collecteurs de premier ordre sont les *collecteurs de deuxième ordre*, etc.

Les *petits drains* doivent être dirigés suivant les lignes de plus grande pente du terrain ; le nivellement fera connaître les points où l'on devra amener les branches des drains principaux. Ceux-ci sont établis à quatre ou cinq centimètres plus bas que les drains dont ils reçoivent les eaux, et ils doivent se raccorder à angle aigu avec eux. Ce raccordement s'effec-

tue au moyen d'une ouverture circulaire, pratiquée dans le plus gros tuyau et dans laquelle pénètre le plus petit. Chaque drain doit former une ligne parfaitement droite, afin que l'eau ne rencontre pas d'obstacles dans son cours souterrain.

L'extrémité des maîtres-drains, au point où ils débouchent dans les ruisseaux ou canaux de décharge, est garnie d'une grille en fer qui s'oppose à l'introduction des matières qui pourraient, par l'extérieur, obstruer les tuyaux.

La figure 371 est le plan d'un champ de 4 hectares 40 centiares qui a été drainé. Les petits drains *a, b, c, d, e, f*, posés en diagonale, débouchent dans les maîtres-drains AB, BC, qui communiquent avec un canal de décharge d'un plus fort diamètre, lequel donne définitivement issue au dehors.

On emploie, pour creuser les drains, la bêche, la pioche, la pelle à puiser. Il faut donner aux tranchées une profondeur telle qu'en enlevant toute l'eau surabondante, elles abaissent en même temps la hauteur de l'eau stagnante, de manière que cette eau ne puisse remonter jusqu'aux racines. Cette profondeur est comprise entre 90 centimètres et 1^m,60. Elle influe sur la largeur des drains, car plus ceux-ci sont profonds, plus il faut de place aux ouvriers pour les creuser. Quant à l'écartement des drains, il varie selon la nature du sol.

Dans les premiers essais de drainage, on se borna à placer, au fond des fossés que l'on avait creusés, une suite de pieux croisés en chevalet, sur lesquels on assujettissait des fagots de menu bois ou d'épines, et on recouvrait le tout de terre.

Bientôt on exécuta les drains au moyen de pierres. Pour drainer ainsi une terre, on place au fond des tranchées, sur une hauteur de 30 à 40 centimètres, des pierrailles d'un faible

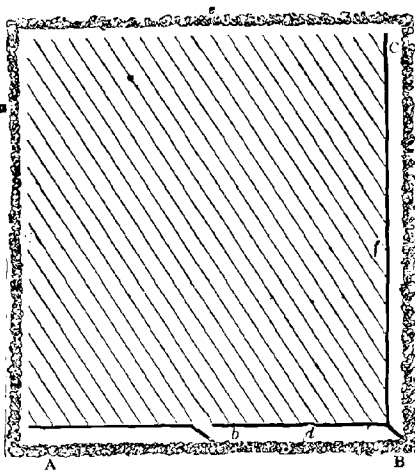


Fig. 371. Plan du drainage d'un champ.

volume, qui laissent entre elles des interstices, à travers lesquels l'eau s'introduit et peut s'écouler au dehors, puis on recouvre le tout de terre. D'autres fois, on emploie des pierres plates surmontées de pierrailles, comme le montre la fig. 372,

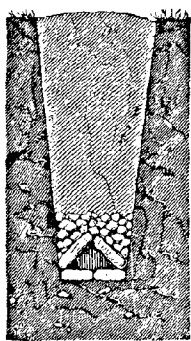


Fig. 372. Tranchée de drainage, avec canal en pierres.

qui représente une coupe de l'une de ces tranchées avec son canal en pierres. Le canal est alors formé, comme on le voit, au moyen de pierres plates, pour établir le conduit, et de pierrailles pour recouvrir et protéger ce conduit.

Ce dernier procédé est bien préférable au précédent, mais il exige de larges tranchées. Il nécessite un temps considérable et des soins qui le rendent très dispendieux. Ainsi établis, les drains peuvent durer plusieurs siècles; seulement ils sont très coûteux.

On a, de nos jours, très heureusement remplacé ces divers moyens de construire les conduites d'eau. On fabrique à très bas prix des tuyaux en poterie, qui l'emportent de beaucoup sur tous les moyens précédemment en usage, sous le rapport de la durée et de l'économie.

Ces tuyaux sont cylindriques. Leur longueur varie de trente à quarante centimètres; leur diamètre de trois à quatre centimètres. Les avantages de la forme cylindrique pour les tuyaux sont nombreux et importants. Cette forme permet d'obtenir, avec une quantité déterminée de matière, la plus grande surface d'écoulement; c'est celle qui oppose au mouvement de l'eau le moins de résistance, en sorte que le diamètre des tuyaux peut être réduit au minimum. C'est encore la forme qui résiste le mieux aux chocs et aux pressions extérieures, en sorte que l'épaisseur des parois peut n'être que d'un centimètre pour les plus petits.

Ainsi, les tuyaux cylindriques sont tout à la fois légers et faciles à transporter; ils occupent peu de place au fond des tranchées, s'obstruent difficilement et coûtent fort peu. Enfin, s'ils sont de bonne terre et si on les a posés avec soin, leur durée est, pour ainsi dire, illimitée.

Placés simplement bout à bout dans le fond des drains, ces tuyaux sont reliés entre eux, comme le montre la figure 373,

par un manchon, ou *collier*, dans lequel les extrémités sont emboîtées. Le diamètre des colliers est tel que le tuyau puisse entrer facilement dans le collier. C'est entre les joints A, B,



Fig. 373. Deux tuyaux de drainage avec leur manchon.

de ces tuyaux que se fait la pénétration de l'eau qui imbibe le sous-sol.

La pose de ces tuyaux doit être faite par un homme soigneux et expérimenté, car c'est de cette opération que dépend en grande partie le succès du drainage.



XXX

LA PHOTOGRAPHIE

Joseph Nicéphore Niepce crée la photographie, en 1824. — Procédé photographique de Niepce. — Travaux de Daguerre. — Description du procédé photographique de Daguerre. — Perfectionnement de la découverte de Niepce et Daguerre. — La photographie sur papier. — La photographie sur verre. — Procédé actuellement suivi pour obtenir les photographies. — Le cabinet noir. — Théorie et pratique des opérations de la photographie.

C'est à Joseph Nicéphore Niepce, né à Châlon-sur-Saône, en 1765, que revient l'honneur de la découverte dont nous allons nous occuper.

A vingt-sept ans, Joseph Nicéphore Niepce faisait, comme lieutenant, une partie de la campagne d'Italie, et en 1794 il était nommé administrateur, c'est-à-dire préfet, du district de Nice. En 1802, il rentra dans sa ville natale, où il fut rejoint par son frère, Claude Niepce. Retirés dans une petite maison de campagne, sur les bords de la Saône, aux environs de Châlon, les deux frères s'y occupèrent d'industrie et de science appliquée. Joseph Nicéphore Niepce mourut en 1833.

Le début des recherches photographiques de Joseph Nicéphore Niepce remonte à l'année 1813. Le problème qu'il poursuivait consistait à fixer les images de la chambre obscure.

La chambre obscure se compose d'une boîte fermée de toutes parts, à l'exception d'une petite ouverture, par laquelle pénètrent les rayons lumineux. Ces rayons lumineux, en s'entre-croisant, vont former une image renversée et raccourcie des objets, sur un écran placé au fond de la boîte.

La figure ci-dessous met en évidence le phénomène d'optique qui se passe dans la chambre obscure, et qui a pour

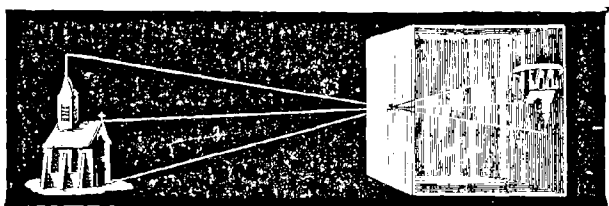


Fig. 374. Chambre obscure.

résultat de donner, à l'intérieur de cet instrument, une image renversée des objets extérieurs.

Porta, physicien napolitain, qui, le premier, fit connaître le phénomène auquel donne lieu la chambre obscure, imagina de placer une lentille biconvexe devant l'ouverture de cet instrument. L'image gagna ainsi beaucoup en éclat, en netteté et en coloris.

C'est en 1824 que Joseph Nicéphore Niepce résolut le problème qu'il s'était proposé, et qui consistait à fixer l'image de la chambre obscure. L'agent chimique impressionnable à la lumière dont il faisait usage,

c'était le *bitume de Judée*, matière noire qui, exposée à la lumière, se modifie chimiquement, et perd sa solubilité dans les liqueurs spiritueuses.

Joseph Nicéphore Niepce appliquait une couche de bitume de Judée sur une lame de cuivre recouverte d'argent, et plaçait cette lame au foyer de la chambre obscure. Après une action



Fig. 375. Joseph Nicéphore Niepce.

assez prolongée de la lumière, il retirait la plaque et la plongeait dans un mélange d'huile de pétrole et d'essence de lavande. Les parties influencées par la lumière demeuraient intactes, les autres se dissolvaient. Ainsi modifié, l'enduit de bitume représentait les clairs; la plaque métallique dénudée représentait les ombres; les parties de l'enduit partiellement dissoutes répondaient aux demi-teintes.

Malheureusement il ne fallait pas moins de dix heures pour obtenir un dessin, à cause de la lenteur avec laquelle le bitume de Judée se modifie sous l'influence de la lumière. Pendant ce temps, le soleil, poursuivant sa route, déplaçait les ombres et les lumières.

Par ce procédé, encore bien imparfait, on le voit, Niepce parvint à former des planches à l'usage des graveurs, car tel était son but. En attaquant ces plaques par un acide faible, il creusait le métal dans les parties que n'abritait pas l'enduit résineux, et l'on pouvait ensuite se servir de cette planche pour tirer des gravures sur papier.

Joseph Nicéphore Niepce appelait ce nouveau procédé de gravure *l'héliographie*.

Pendant que Niepce poursuivait, à Châlon-sur-Saône, la solution du problème de la fixation des images de la chambre obscure, un autre expérimentateur s'occupait, à Paris, des mêmes travaux : c'était le peintre Daguerre, qui s'était fait un certain renom par l'invention du diorama. Mais Daguerre n'avait encore obtenu de ses longues tentatives aucun résultat satisfaisant, quand il apprit qu'au fond de la province un homme était parvenu à résoudre le difficile problème dont il s'occupait lui-même, c'est-à-dire à conserver les images qui se forment dans la chambre obscure.

Le peintre parisien ayant réussi à se mettre en rapport avec l'inventeur châlonnais, lui proposa de s'associer à lui, pour continuer de poursuivre en commun l'étude de la question qu'ils avaient abordée chacun de son côté. Niepce ayant accepté la proposition, le 14 décembre 1829, un traité fut, à cet effet, signé entre eux à Châlon-sur-Saône.

Niepce ayant communiqué à Daguerre le secret de ses procédés, Daguerre s'applique aussitôt à les perfectionner. Il remplace le bitume de Judée par la résine qu'on obtient en distillant l'essence de lavande; il ne lave plus la plaque dans

une huile essentielle, il l'expose à l'action de la vapeur fournie par cette essence à la température ordinaire. Cette vapeur se condensait seulement sur les parties restées dans l'ombre et respectait les clairs représentés par la résine blanchie. Les ombres étaient représentées par une sorte de vernis transparent formé par la résine dissoute dans l'huile essentielle.

En même temps Daguerre change complètement les bases du procédé dont Niepce s'était servi. Tandis que Niepce ne faisait de la plaque qu'un moyen d'arriver à la gravure, c'est-à-dire cherchait à obtenir, par l'action de la lumière, une planche propre à donner des estampes, Daguerre, au contraire, veut que le dessin définitif demeure sur la plaque. Ainsi, l'image sera formée sur un métal, au lieu d'être tirée sur papier, comme le voulait Niepce, le premier inventeur, et elle ne donnera, à chaque opération, qu'un type unique, au lieu de fournir une planche capable de tirer un grand nombre d'estampes.



Fig. 376. Daguerre.

Le système de Daguerre était bien inférieur à celui de Niepce, mais il prévalut.

Les deux associés venaient de substituer aux substances résineuses l'iode, qui donne une grande sensibilité aux plaques d'argent, lorsque Niepce mourut, à l'âge de soixante-trois ans. Après vingt ans de travaux, il s'éteignit pauvre et ignoré. La gloire ne devait rayonner que plus tard autour du nom de l'homme qui avait produit l'une des plus curieuses découvertes de son siècle.

Continuant ses recherches, Daguerre eut bientôt le bonheur de découvrir la merveilleuse influence des vapeurs du

mercure sur l'apparition de l'image photographique. Il reconnut que l'image formée par l'action de la lumière sur une plaque revêtue d'iodure d'argent est d'abord invisible, mais qu'elle apparaît subitement si on expose cette plaque aux vapeurs mercurielles. Dès lors, le problème de la fixation de l'image de la chambre obscure et de la conservation indéfinie de cette image était parfaitement résolu.

Le 7 janvier 1839, Arago annonça publiquement à l'Académie des sciences de Paris la découverte de Niepce et de Daguerre. Le 19 août 1839, les procédés des inventeurs, qui jusqu'alors étaient demeurés secrets, furent rendus publics. Le gouvernement accorda une récompense nationale à Daguerre, ainsi qu'au fils de Joseph Nicéphore Niepce.



Dans le procédé de Daguerre, c'est-à-dire dans la *daguerreotypie*, ou *photographie sur métal*, les images se forment à la surface d'une lame de cuivre argenté. On expose cette lame aux vapeurs que l'iode dégage spontanément : l'iode se combine avec l'argent, et forme une mince couche d'iodure d'argent, qui est excessivement sensible à l'action des rayons lumineux. On place la plaque iodurée au foyer de la chambre obscure, et on amène sur cette plaque l'image formée par l'objectif de l'instrument. La lumière, avons-nous dit, a la propriété de décomposer l'iodure d'argent : les parties de la plaque vivement éclairées subissent donc cette décomposition, tandis que celles qui sont dans l'ombre demeurent intactes.

Retirée de la chambre obscure, la plaque recouverte d'iodure d'argent décomposé par la lumière ne présente encore aucune trace visible d'image. On la soumet alors, dans une boîte fermée, aux vapeurs émises par le mercure, en chauffant légèrement un peu de mercure contenu dans une boîte de fer. Cette opération fait apparaître l'image. En effet, les vapeurs viennent se condenser seulement sur les parties que la lumière a frappées, c'est-à-dire sur les parties décomposées de la couche d'iodure d'argent. Un vernis éclatant de mercure accuse donc les parties éclairées, et les ombres sont représentées par la surface sombre de la plaque dans les parties non recouvertes par le mercure.

Il reste à débarrasser la plaque de l'iodure d'argent qui

l'imprègne encore; car, si on ne l'enlevait pas, cet iodure d'argent noircirait sous l'influence de la lumière et ferait ainsi disparaître tout dessin. Pour cela on plonge la plaque dans une dissolution d'hyposulfite de soude, sel qui a la propriété de dissoudre l'iodure d'argent non impressionné par la lumière.

Dans le procédé que nous venons de décrire, il fallait, pour obtenir une épreuve, exposer la plaque pendant un quart d'heure à une lumière très vive. Ces épreuves miroitaient désagréablement par l'effet du métal; on ne pouvait reproduire les objets animés; le ton du dessin n'était pas harmonieux; on n'avait que la silhouette des masses vertes des arbres; enfin, l'image pouvait s'effacer, par suite de la volatilisation lente du mercure. La plupart de ces défauts résultaient de la trop longue exposition de la plaque à la lumière.

En 1851, Claudet, artiste français, qui exploitait à Londres le procédé de Daguerre, découvrit que le chlorure d'iode appliqué sur la plaque préalablement iodée augmente singulièrement la sensibilité lumineuse de cette plaque. Le brome, le bromure d'iode, l'acide chloreux, sont des *substances accélératrices* encore plus puissantes et découvertes postérieurement. Avec l'acide chloreux, on a obtenu des épreuves irréprochables en une demi-seconde.

La découverte des substances accélératrices permit de faire des portraits. Jusqu'alors, l'obligation de faire poser le modèle pendant un temps assez long n'avait donné pour résultat que des figures contractées et grimaçantes.

Il restait encore un dernier perfectionnement à ajouter à la méthode de Daguerre. Les images miroitaient, comme nous l'avons déjà dit. De plus, le dessin manquait de fermeté, parce qu'il ne résultait que de l'opposition des teintes du mercure et de l'argent; le plus léger attouchement suffisait pour effacer l'image. Tous ces inconvénients disparurent grâce à la découverte, due à M. Fizeau, du procédé qui sert à *fixer* les épreuves daguerriennes. Si l'on verse sur l'épreuve une dissolution de chlorure d'or mêlée à de l'hyposulfite de soude, et si on chauffe légèrement la plaque, elle se recouvre d'une mince feuille d'or métallique. Dès lors l'argent ne miroite plus autant; en effet, il est bruni par la mince couche d'or qui se dépose à sa surface; les noirs sont aussi plus vigoureux, et le mercure qui constitue les blancs s'amalgamant avec l'or et prenant un plus vif éclat,

le dessin devient plus net et plus ferme. Enfin, l'image peut dès lors résister au frottement, parce que le mercure qui, primitivement, formait le dessin à l'état de globules très petits et peu adhérents, est maintenant recouvert d'une lame d'or qui adhère à la plaque.



La photographie sur métal avait un inconvénient capital, c'est que chaque opération ne fournit qu'un seul type. Comme inconvénient secondaire, on lui reprochait le miroitage métallique, qu'il était impossible de bannir entièrement. Enfin le dessin ne reposant qu'à la surface de la plaque n'était qu'un mince voile qui ne présentait pas la résistance nécessaire à un objet de durée.

La photographie sur papier vint apporter son complément à la découverte qui nous occupe, car elle est exempte de tous les inconvénients qui sont inhérents à la daguerréotypie. Elle présente, en effet, cet immense avantage, qu'un premier dessin-type étant une fois obtenu peut fournir un nombre immense de reproductions. En second lieu, l'image n'est pas formée seulement à la surface du papier, mais elle pénètre assez profondément dans sa substance, ce qui est une condition de résistance et de durée.

La photographie sur papier, qui fit promptement et totalement disparaître le système de Niepce et Daguerre, a été découverte en 1839, par Fox Talbot, amateur anglais. Ce n'est pourtant qu'à partir de 1845 que cette nouvelle méthode a été connue et s'est répandue en Europe.

Avant d'exposer le procédé pratique de la photographie sur papier, nous ferons connaître le principe général de l'opération.

Si l'on soumet à l'action de la lumière solaire les sels d'argent, lesquels sont naturellement incolores, ils se décomposent par l'effet des rayons lumineux, et ils noircissent. Si donc on place au foyer d'une chambre obscure une feuille de papier imprégnée de chlorure ou d'iodure d'argent, les parties vivement éclairées de l'image décomposent et noircissent la couche de chlorure d'argent existant sur la feuille de papier, tandis que les parties obscures ne la modifient point.

On a, de cette manière, un dessin sur papier dans lequel

les parties claires apparaissent en noir et les ombres en blanc : c'est ce qu'on appelle une *image négative*. Qu'on place maintenant cette image *négative* sur une feuille de papier imprégnée d'un sel d'argent, et qu'on expose le tout au soleil, les parties blanches du dessin laisseront passer les rayons lumineux, les parties noires les arrêteront. Il en résultera donc sur le papier ainsi recouvert par l'épreuve négative et imprégné du sel d'argent, une épreuve dite *positive* sur laquelle les clairs et les ombres seront dans une position normale.

Passons au procédé pratique.

Pour obtenir l'épreuve négative dans la chambre obscure, on reçoit l'image sur une feuille de papier enduite d'iode d'argent, mélangé d'un peu d'acide acétique ; puis on expose cette feuille au foyer de la chambre obscure. Au bout d'une demi-minute environ, l'action chimique est produite.

Cependant, quand on retire la feuille de papier de la chambre obscure, on n'y voit point d'image. Pour la faire apparaître, il faut plonger l'épreuve dans une dissolution d'acide gallique. L'image apparaît, parce que l'acide gallique forme un sel noir, le *gallate d'argent*, dans tous les points où il s'est formé de l'oxyde d'argent libre, c'est-à-dire dans toutes les parties que la lumière a frappées. On enlève, par un lavage à l'eau pure, l'excès du sel d'argent non influencé, on lave l'épreuve dans une dissolution d'hyposulfite de soude, et on obtient ainsi l'épreuve négative.

Nous n'avons pas besoin de dire que le traitement par l'acide gallique pour *développer l'image*, ainsi que les lavages du papier, et la plupart des opérations, doivent être faites à l'abri de la lumière. Sans cela, les substances chimiques impressionnables à la lumière seraient modifiées par l'effet du jour, et tout serait uniformément altéré, c'est-à-dire que tout travail serait impossible.

L'opérateur se renferme donc dans l'obscurité, dans un *cabinet noir*, en s'aidant, pour se procurer un peu de lumière, d'une bougie, qui est sans action sur les agents chimiques employés.

Toutefois, comme la lumière de la bougie impressionne quelques substances très sensibles, on a supprimé la bougie. On a, en effet, découvert que la lumière jaune est entièrement sans action sur les substances photographiques. Aujourd'hui,

le photographe se borne donc à garnir la fenêtre de son étroit laboratoire avec des vitres jaunes. Dans ce *cabinet jaune*, qui fait l'effet d'un *cabinet noir*, le photographe travaille en y voyant



Fig. 317. Le cabinet noir du photographe.

clair, et sans courir le risque de compromettre ses opérations.

On a ainsi obtenu un *cliché négatif* sur papier. Pour obtenir l'*épreuve positive* sur papier, on place ce *cliché négatif* sur une feuille de papier imprégnée de chlorure d'argent, et on expose le tout au soleil, pendant quinze à vingt minutes,

ou à la lumière diffuse pendant un temps qui varie d'une demi-heure à quatre heures.

On obtient ainsi l'*image positive* sur papier, qu'il faut laver comme la première, et pour le même motif, d'abord à l'eau pure, ensuite avec l'hyposulfite de soude.

Ajoutons que l'on peut tirer un nombre très considérable d'épreuves positives avec l'épreuve négative en papier, qui porte également le nom de *cliché*.



L'irrégularité de la pâte du papier empêche d'obtenir sur cette substance des épreuves à contours nets et arrêtés. La découverte de la *photographie sur verre* a remédié à cette imperfection, en permettant d'obtenir des dessins dans lesquels le trait est doué de la précision la plus rigoureuse. Cet artifice consiste à former l'image négative, non sur du papier, mais à la surface, parfaitement plane et polie, d'un morceau de verre ou de glace, recouvert d'une matière transparente, telle que l'albumine. On obtient ainsi une surface parfaitement plane, presque égale, sous ce rapport, à la plaque du daguerréotype, et sur laquelle le dessin photographique s'imprime en épreuve négative, avec les contours les plus précis et les mieux arrêtés.

Avec ce *cliché négatif sur verre*, on tire ensuite des épreuves positives sur papier.

La photographie sur verre a été proposée en 1847 par Niepce de Saint-Victor, neveu de Joseph Nicéphore Niepce, le créateur de la photographie.

Niepce de Saint-Victor étalait de l'albumine sur une lame de verre. En 1851 l'albumine fut remplacée par le collodion, qui n'est autre chose qu'une dissolution de coton-poudre dans un mélange d'alcool et d'éther.

L'idée de remplacer l'albumine par le collodion est due au photographe de Paris, Legray et au photographe de Londres, Archer.

Le collodion active prodigieusement la sensibilité lumineuse de l'iodure d'argent. Grâce au collodion mélangé à l'iodure d'argent, on peut obtenir des épreuves négatives en huit à dix secondes. On peut même obtenir des images instantanées, c'est-à-dire fixer sur la plaque photographique des objets ani-

més d'un mouvement rapide, tels que les nuages chassés par le vent, une voiture emportée par des chevaux, un navire fendant les flots, ou les vagues de la mer.

Voici la série d'opérations qui servent à obtenir une épreuve au moyen de la photographie sur verre.

Sur une lame de verre on étale une légère couche de collodion. On laisse sécher cette couche, qui forme sur la glace un



Fig. 378. Le portrait photographique.

enduit transparent et poli. Au collodion, on a eu d'avance la précaution d'ajouter une petite quantité d'iodure de potassium. Quand on veut opérer, on *sensibilise* le collodion en plongeant la lame de verre recouverte de cet enduit dans une dissolution d'azotate d'argent, aiguisée d'un peu d'acide acétique. Il se forme, par l'action de l'iodure de potassium sur l'azotate d'argent, une certaine quantité d'iodure d'argent. C'est là l'agent photographique, c'est-à-dire la ma-

tière qui doit être impressionnée par les rayons lumineux.

Ainsi imprégnée d'iodure d'argent mêlée au collodion, la plaque de verre est portée dans la chambre obscure, où elle reçoit l'action de la lumière qui doit former l'image négative. Au sortir de la chambre noire, on soumet cette épreuve aux opérations ordinaires qui servent à faire apparaître et à fixer les épreuves négatives sur papier, c'est-à-dire qu'on la traite par l'acide gallique pour faire apparaître l'image, ensuite par l'eau pure, pour la laver, et enfin par l'hyposulfite de soude, pour la fixer.

Ce cliché négatif sur verre sert ensuite à tirer sur papier des épreuves positives.

On voit donc que le verre n'est employé que pour obtenir l'épreuve négative destinée à servir de type ; quant aux épreuves positives, elles sont toujours tirées sur papier. Il faut être prévenu de cette circonstance, car le mot de *photographie sur verre* est susceptible d'induire en erreur, en faisant supposer, à tort, que les épreuves positives elles-mêmes sont tirées sur verre.

La photographie sur verre collodionné est aujourd'hui le moyen universellement employé pour obtenir les épreuves. C'est le procédé que suivent tous les photographes pour les portraits. Le collodion permet, en effet, d'opérer avec une rapidité prodigieuse.



Le dernier et le plus important progrès qu'ait réalisé la photographie, c'est la transformation de ses épreuves en véritables gravures. La *photo-gravure*, créée par les travaux successifs d'un grand nombre d'expérimentateurs et de praticiens, tels que MM. Baldus, Poitevin, Ch. Nègre, Garnier, Grivet, etc., permet d'obtenir avec une photographie des planches sur acier, sur cuivre ou sur pierre, avec lesquelles on tire sur papier des gravures ordinaires. C'était là, il ne faut pas l'oublier, l'objet que se proposait dès l'origine le créateur de cet art, Joseph Nicéphore Niepce, et tel est, en définitive, le but suprême auquel devait aspirer et qu'a fini par atteindre l'invention merveilleuse qui vient de nous occuper.



XXXI

LE STÉRÉOSCOPE

Cause de la sensation du relief. — Histoire des travaux relatifs au stéréoscope. — Le stéréoscope à miroirs. — Le stéréoscope à réfraction, ou stéréoscope de Brewster. — Théorie et description de cet instrument. — Les images stéréoscopiques, manière de les obtenir. — Le stéréoscope monté sur une colonne, ou le *voyage dans un fauteuil*.

Les objets extérieurs forment au fond de notre œil une image semblable à celle qu'on observe dans la chambre obscure. Mais nos deux yeux ne sont pas placés exactement de la même manière, par rapport à l'objet que nous considérons. Aussi les images produites à l'intérieur par chacun de ces organes ne sont-elles pas exactement pareilles : l'une est plus étendue que l'autre, l'une est plus colorée que l'autre, etc. Nous recevons donc deux impressions distinctes, deux images d'un même objet. Et pourtant tout le monde sait bien que ces deux perceptions différentes se fondent, s'allient en un jugement simple, c'est-à-dire que nous n'apercevons qu'un objet unique, avec tous ses reliefs. C'est là un phénomène bien curieux et qui tient à diverses causes : à l'éducation des yeux, à une habitude prise dès l'enfance, à un effort, réel sans doute, mais dont nous n'avons pas conscience, et qui, combinant entre elles les deux images dissemblables perçues par chacun de nos deux yeux, les complète l'une par l'autre et en forme une seule, conforme à l'objet considéré, c'est-à-dire présentant le relief qui existe dans la nature.

C'est donc un grand effort de notre intelligence, sourd en quelque sorte, qui nous donne le sentiment du relief.

Ce sentiment du relief s'efface quand on regarde avec les deux yeux des objets très éloignés. Notre jugement devient alors incertain et même trompeur. Pourquoi ? Parce que l'intervalle qui sépare nos yeux est relativement si petit que les deux images de l'objet situé à une grande distance ne présentent plus de différence entre elles, s'accordent sans effort sur nos deux rétines et ne produisent plus dès lors la sensation du relief.

Ainsi, la sensation du relief d'un corps vu par les deux yeux résulte de la combinaison que fait notre intelligence des deux images dissemblables de ce corps, formées, l'une sur la rétine de l'œil droit, l'autre sur la rétine de l'œil gauche.

On a fait à cette théorie une objection, grave en apparence, en disant que les personnes borgnes de naissance ou par accident perçoivent les reliefs, apprécient les distances et les effets de perspective, à peu près comme celles qui jouissent de leurs deux yeux. Mais il faut tenir compte, dans ce cas, de l'exercice des autres sens, et d'une longue habitude. Il est, du reste, un fait important à noter : c'est que, quand un individu privé d'un œil regarde un objet éloigné, la direction de son regard, la position de sa tête varient continuellement sans qu'il en ait conscience. Il cherche instinctivement à obtenir sur sa rétine unique diverses images destinées à suppléer aux deux images naturelles des deux rétines. « Ce mouvement, dit M. l'abbé Moigno, est d'ailleurs assez rapide pour que la seconde image se forme avant la disparition de la première, et que de leur existence simultanée résulte l'estimation de la distance avec la perception du relief. »



Euclide, chez les Grecs, et Galien, chez les Romains, connaissaient déjà ce fait, que l'accouplement de deux images dissemblables reçues dans les deux yeux donne la sensation du relief.

Porta, physicien italien qui vivait à l'époque de la Renaissance, Gassendi, philosophe du dix-huitième siècle, et, dans notre siècle, Haris et le docteur Smith, avaient des idées assez précises sur le sujet qui nous occupe.

De Haldat, savant physicien de Nancy, qui s'était beaucoup

occupé des phénomènes de la vision, étudia le premier expérimentalement les effets de la vision simultanée de deux objets de forme et de couleurs dissemblables. De Haldat n'avait plus qu'un pas à faire pour construire le stéréoscope; mais il se laissa devancer par le physicien anglais, Wheatstone.

Le 25 juin 1838, le *stéréoscope à miroirs* de Wheatstone faisait sa première apparition au sein de la *Société royale de Londres*. Dans cet instrument on produisait l'effet du relief en faisant coïncider dans l'œil deux images à peu près semblables par leur réflexion sur des miroirs plans convenablement placés.

Le *stéréoscope de Wheatstone* était à peu près oublié quand sir David Brewster construisit le sien. Un premier modèle de cet instrument fut fabriqué sous les yeux de ce physicien, à Dundee, en Écosse. Mais les opticiens de Londres et de Birmingham ne se prêtèrent pas à le propager. Ce petit appareil serait peut-être tombé dans l'oubli sans un voyage que le physicien écossais fit à Paris en 1850. M. l'abbé Moigno, frappé des curieux effets du stéréoscope de Brewster, pria l'inventeur d'en confier la construction à un habile opticien de Paris, M. Jules Dubosq. L'heure du succès avait sonné. Le stéréoscope devint populaire en France un an même avant d'avoir attiré l'attention en Angleterre. Aujourd'hui, c'est par millions que s'est vendu le *stéréoscope de Brewster*.



Donnons la théorie et la description du *stéréoscope de Brewster*.

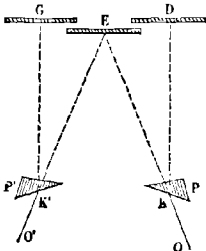


Fig. 379.
Théorie du stéréoscope.

Soient D et G (fig. 379) deux images à peu près semblables d'un même objet, et telles qu'elles sont vues pour l'une de l'œil droit, et pour l'autre de l'œil gauche. Considérons deux points, D et G, de ces images, plaçons deux prismes de verre transparents PP' sur le trajet des rayons lumineux émis par ces points. Ces rayons, en traversant les deux prismes, se réfractent et arrivent aux yeux de l'observateur suivant la direction KO et K'O'. Mais alors l'œil croit les voir

partir d'un point unique E, lieu d'intersection des deux lignes OK et O'K'. En sorte que si l'angle des deux prismes et leur distance aux images G et D sont bien déterminés, les deux images se rejoindront en E et nous donneront la sensation du relief.

Pour répondre à cette condition, les deux prismes doivent être rigoureusement égaux et dévier les rayons de la même quantité. Sir David Brewster résolut ce problème, et c'est peut-être là sa vraie part d'invention dans la construction du stéréoscope. Il substitua aux deux prismes les deux moitiés MM' d'une même lentille bi-convexe (fig. 380), dans lesquelles on taille deux nouvelles lentilles LL' symétriques et qu'on ajuste aux extrémités de deux tubes.

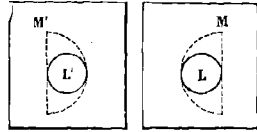


Fig. 380. Demi-lentilles de stéréoscope.

Le stéréoscope de Brewster consiste en une boîte à l'une des parois de laquelle on a percé une ouverture, fermée par une fenêtre mobile, F. L'intérieur de la fenêtre est recouvert de papier d'étain et constitue une sorte de réflecteur. On introduit les dessins par la coulisse AB. Les deux tubes LL' renferment les prismes-lentilles :

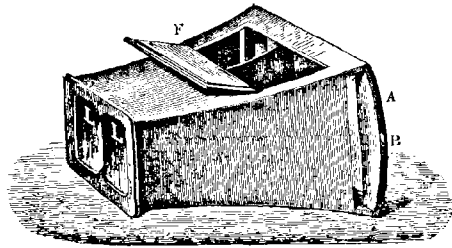


Fig. 381. Stéréoscope de Brewster.

on peut les enfoncer ou les retirer, de manière à les approprier aux différentes vues. Les prismes lenticulaires, outre qu'ils dévient et superposent les images, ont encore la propriété de les amplifier. C'est, comme on le voit, un nouvel avantage du stéréoscope de Brewster sur le stéréoscope de Wheatstone.

Les images stéréoscopiques, dont la figure 382 donne une idée, sont deux vues du même objet, qui ne diffèrent que très peu l'une de l'autre, mais qui en réalité sont disparates. On remarquera, en effet, que sur l'une de ces vues, celle de droite, on aperçoit quatre arches de pont, et que sur celle de gauche on n'aperçoit que la moitié de la quatrième arche. Elles représentent cet objet comme l'observateur le verrait s'il re-

gardait cet objet alternativement avec l'œil droit et avec l'œil gauche. Placées dans le stéréoscope, ces deux images se réunissent sur la rétine en une image unique, par l'effet des deux lentilles du stéréoscope, et donnent ainsi la sensation du relief.

Comment procède-t-on, pour se procurer deux images d'une même scène, d'un paysage, d'un portrait, etc., capables de satisfaire aux conditions du stéréoscope, c'est-à-dire de donner l'effet du relief quand on les place dans l'instrument ? C'est à la photographie que l'on a recours pour se procurer cette double image.

La photographie permet de produire très facilement deux images de bas-reliefs, de statues, de portraits, telles qu'on les verrait en les regardant successivement avec un seul œil. Pour cela, on prend successivement de la même distance et sous des angles inégaux de quelques degrés à gauche, avec une même chambre obscure, deux images de l'objet qu'on a choisi. Les deux images photographiques ainsi obtenues produisent dans le stéréoscope des effets merveilleux de relief.

La figure 383 (page 527) montre comment on dispose les deux chambres noires pour prendre avec précision les deux vues photographiques d'un même objet, ne différant que légèrement l'une de l'autre.

Les deux chambres obscures sont placées à 2 mètres environ du modèle, dans le cas que nous considérons d'un buste ou d'une statue, et on les écarte d'environ quinze centimètres. Avant de prendre l'épreuve, on s'est assuré que l'inclinaison des deux images produites au foyer de chaque chambre noire est celle qui convient pour obtenir l'effet cherché. Il faut, pour cela, que le point du modèle qui est au centre de l'écran de la chambre noire de droite se trouve également au centre de l'écran de la chambre noire de gauche. On prend alors successivement les deux épreuves photographiques par le procédé ordinaire.

Seulement, pour les épreuves destinées au stéréoscope, il vaut mieux tirer les épreuves positives sur verre que sur papier. On fait souvent, à la vérité, usage d'épreuves sur papier pour le stéréoscope, mais celles sur verre sont bien supérieures, car la transparence du verre éclaire le dessin et ajoute encore à l'effet du relief.

Pour les images stéréoscopiques de paysages ou de monu-

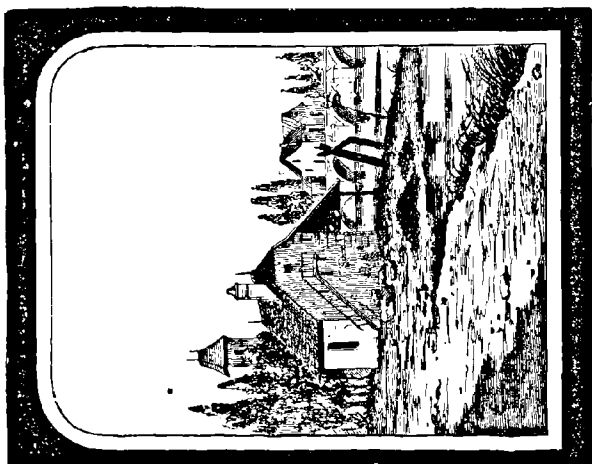
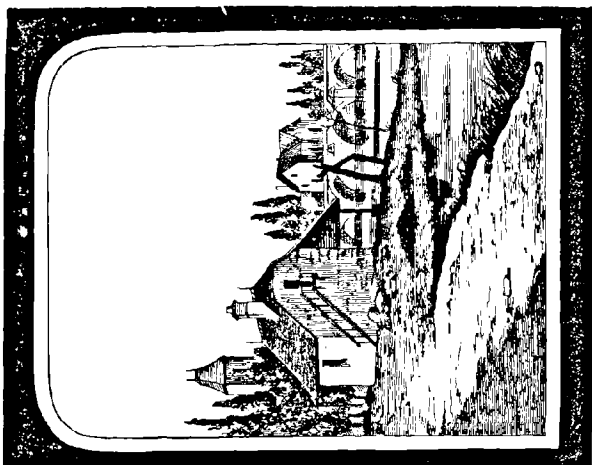


Fig. 382. Les deux images photographiques destinées à produire l'effet du relief dans le stéréoscope.

ments, on opère avec une seule et même chambre noire, et on ne prend qu'une seule image à la fois. Seulement la chambre noire est portée sur une planchette sur laquelle elle peut glisser de manière à se porter à droite ou à gauche de la position première. On prend les deux images successivement, en cherchant, par tâtonnements, la position dans laquelle les

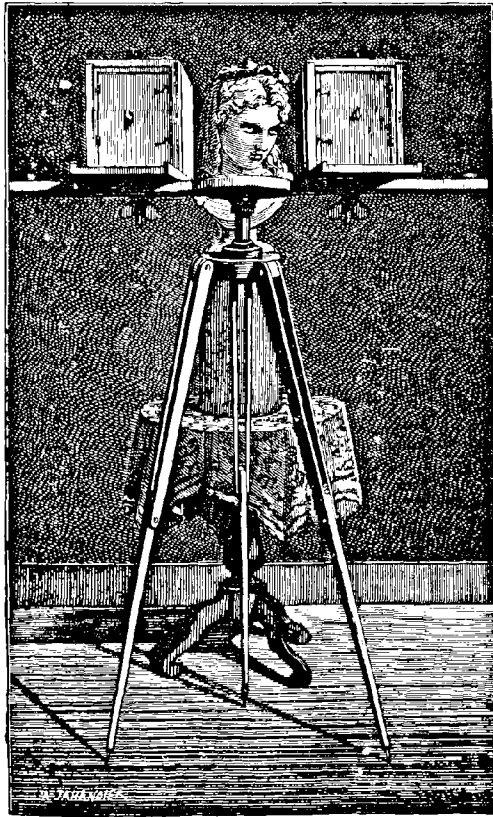


Fig. 383. Appareil pour tirer deux épreuves photographiques destinées au stéréoscope.

deux images présenteront le même objet au centre de l'écran, bien que l'objectif ait été changé de place. La distance de séparation entre les deux chambres noires ne doit être que de 7 centimètres environ, c'est-à-dire à peu près l'écartement des deux prunelles de nos yeux.

La découverte du stéréoscope a ouvert une ère nouvelle aux

applications de la photographie. En France, en Angleterre, en Allemagne, en Italie, on fabrique aujourd'hui des quantités immenses d'épreuves photographiques destinées aux verres du stéréoscope.

Une disposition très ingénieuse imaginée par un photographe, M. Ferrier, c'est le *stéréoscope à colonne*. Dans cet ingénieux appareil les épreuves stéréoscopiques sont portées sur un axe commun et disposées en éventail sur cet axe. En tour-

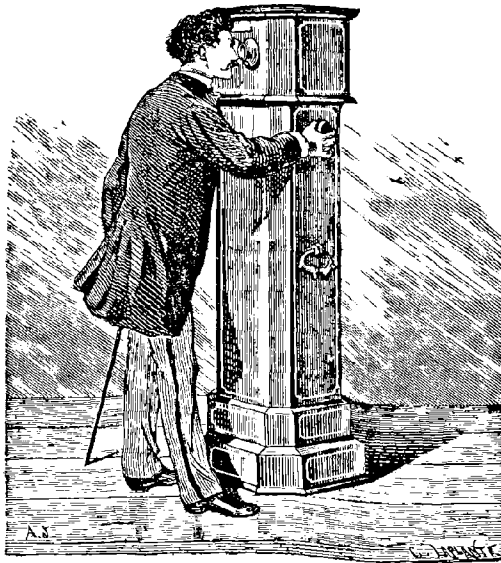


Fig. 384. Le stéréoscope à colonne.

nant un bouton, on fait avancer, à son tour, chaque épreuve. Le spectateur, les yeux braqués sur les deux oculaires du stéréoscope et la main sur le bouton qui fait tourner l'axe des épreuves, voit donc se succéder toutes les images contenues dans l'intérieur de la boîte. Selon le contenu de la colonne pittoresque, la Suisse, l'Italie, l'Orient, défilent devant lui. Il peut admirer, sans bouger de place, les sites les plus intéressants, les plus divers, et effectuer, sans quitter son salon, un merveilleux voyage. Le *stéréoscope à colonne* c'est le *voyage dans un fauteuil*.



XXXII

LE TÉLÉPHONE

Phénomènes acoustiques et découvertes scientifiques qui ont conduit à la découverte du téléphone. — La musique galvanique. — Expériences de Page en 1837. — Le télégraphe à feuille. — Travaux de M. Graham Bell qui ont amené la découverte du téléphone. — Description du téléphone de Bell : le *transmetteur* et le *récepteur*. — Le téléphone Gower n'est qu'une modification du téléphone de Bell. — Le téléphone d'Edison, principe de sa construction. — Description de ce téléphone. — Quelle théorie faut-il donner de la transmission des sons à distance? — Application du téléphone à la correspondance instantanée dans les villes. — État actuel du service téléphonique en Amérique. — Le téléphone à Paris.

Le téléphone fit sa première apparition à l'Exposition de Philadelphie, en 1876, mais ce n'est qu'en 1877 que des expériences publiques furent faites à Boston avec le merveilleux instrument qui permet de transmettre la parole à de grandes distances.

La découverte du téléphone causa dans le monde savant une vive surprise, car bien peu de recherches antérieures, dans le domaine de l'acoustique, avaient fait prévoir une invention aussi extraordinaire.

On savait depuis longtemps que, si l'on place l'oreille sur une poutre placée horizontalement, tandis qu'à l'autre extrémité de la poutre, quelqu'un frappe légèrement avec la tête d'une épingle, on entend un bruit assez fort, dont la sonorité dépend de la longueur de la poutre, de la nature du bois et de la force du choc.

On savait encore que le son peut se transporter d'une extrémité à l'autre d'un tuyau métallique de plusieurs kilo-

mètres de longueur, sans rien perdre de son intensité, et que le bruit du canon s'entend à une grande distance quand on applique l'oreille contre le sol.

Vers 1837, on découvrit qu'une tige métallique, quand elle est aimantée et désaimantée rapidement, émet des sons, lesquels sont en rapport avec le nombre des émissions et interruptions des courants qui les déterminent. C'est ce qu'on appela la *musique galvanique*. Ce fut là le prélude de découvertes sérieuses dans la voie de la téléphonie.

L'auteur de la découverte de la *musique galvanique* était un physicien américain, le professeur Page.

On sait que les notes de musique dépendent du nombre de vibrations imprimées à l'air, et que les notes ne sont perceptibles par notre oreille que quand le nombre des vibrations surpasse seize par seconde. Page reconnut que, si les courants qui parcourent un électro-aimant sont établis et interrompus plus de seize fois en une seconde, les vibrations sonores transmises à l'atmosphère par le barreau aimanté engendrent des sons, en d'autres termes produisent la *musique galvanique*. Ce curieux résultat provient de ce que l'air est mis en vibration par le barreau de fer, qui se déforme chaque fois qu'il reçoit ou perd son aimantation.

Auguste de la Rive augmenta l'intensité des sons qu'avait su produire Page en employant de longs fils métalliques qui étaient soumis à une certaine tension et qui traversaient l'axe de bobines d'induction entourées d'un fil métallique isolé.

En 1847 et en 1852, des *vibrateurs électriques* furent construits par MM. Froment et Petrina, d'après les idées de MM. Mac Gauley, Wagner, Neef, etc., afin de produire des sons musicaux par le courant électrique. Mais ce fut seulement en 1854 qu'un physicien français, M. Charles Bourseul, vint démontrer la possibilité de transmettre la parole à distance, sous l'influence de l'électricité.

Cette idée ne fut pas prise au sérieux par nos savants, mais vingt ans après elle était appliquée en Amérique avec un succès inattendu, et apportait la solution du problème de la transmission des sons à distance.

Vers 1875, on vendait à Paris, pour 50 centimes, un appareil grossier, à l'aide duquel on se parlait presque à voix basse, à une distance de 10 mètres environ. Cela s'appelait le

télégraphe à ficelle (fig. 385) et les savants n'y accordaient aucune attention. Tout se réduisait à deux embouchures en carton, reliées entre elles par une ficelle attachée au fond de chaque embouchure. Ce fond était une membrane de parchemin. Une personne parlait en appliquant l'une des embouchures entre ses lèvres, tandis qu'une seconde personne plaçait l'autre embouchure contre l'oreille, en ayant soin de tenir la ficelle bien tendue. Les paroles étaient ainsi transmises assez facilement.

Ce petit instrument est le germe du téléphone actuel. Mais quel en est l'inventeur ? Comme toutes ces inventions singu-

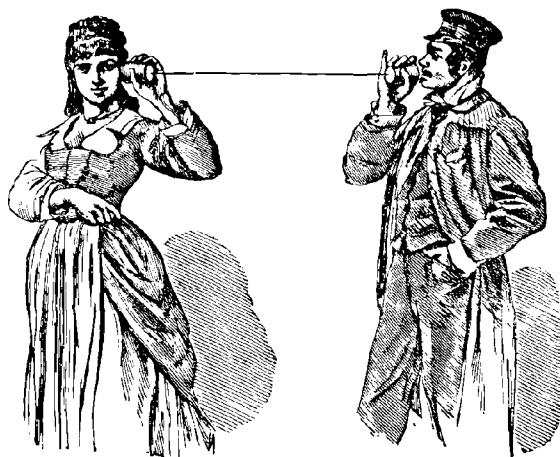


Fig. 385. Le télégraphe à ficelle.

lières, celle-ci cache son origine dans un vague ténébreux. Un Prussien s'est vanté récemment d'en avoir été le créateur ; mais il se trouve toujours un Prussien pour réclamer ce qui semble n'appartenir à personne. On a laissé dire le Prussien.

Le fait est que l'inventeur du *télégraphe à ficelle* est parfaitement ignoré. Tout ce que l'on peut dire, c'est que ce petit instrument est fort ancien, car il était connu dans le Nouveau-Monde depuis des temps reculés. M. Édouard André, qui fut chargé par le gouvernement français, en 1870, d'une mission scientifique dans la Nouvelle-Grenade, en rapporta cet instrument, qu'on appelle dans ce pays *fonoscopio* et qui sert à amuser les enfants. Les membranes résonnantes sont en vessie de porc, les cornets récepteurs en bambou et le fil est en

coton. On en trouve dont le fil n'a pas moins de 60 mètres de long. D'après les notables de la Nouvelle-Grenade, le *fonoscopio* serait connu dans ce pays depuis la conquête du Nouveau-Monde par les Espagnols.

Dans la république de l'Équateur on trouve également le *fonoscopio* servant de jouet aux enfants.

Nous verrons plus loin que le téléphone actuel, c'est-à-dire le téléphone de Bell, est assez semblable par sa forme au *fonoscopio* du Nouveau-Monde. La membrane, au lieu d'être en vessie de porc, est en fer très mince, et le conducteur est en métal, au lieu d'être en coton.

Nous mentionnons aujourd'hui avec un certain intérêt ce jouet, qui nous semble une grande curiosité historique, mais il y a vingt ans, comme il a été dit plus haut, les savants en ignoraient l'existence, ou n'y accordaient aucune attention.

En revanche, les physiiciens s'occupaient beaucoup d'expériences qui faisaient espérer la découverte de la transmission des sons à distance.

La création du téléphone fut préparée par la construction de quelques appareils, au jeu plus ou moins efficace, qui permettaient de transmettre à distance les sons musicaux, à l'aide d'un courant électrique successivement établi et interrompu avec une excessive rapidité.

C'est au physicien américain Page que l'on doit, ainsi qu'il a été dit plus haut, la découverte de ce fait curieux que l'interruption excessivement rapide du courant électrique fait naître des sons à l'extrémité du conducteur, quelle qu'en soit la longueur.

Le premier appareil dans lequel ce fait reçut son application, c'est-à-dire le premier appareil transportant à distance des sons musicaux, fut construit, en 1861, par Philippe Reiss physicien américain.

Philippe Reiss disposa un diaphragme de manière que ses vibrations pussent établir et interrompre rapidement un circuit voltaïque. Il prenait une caisse en bois, y plaçait le diaphragme en rapport avec le circuit voltaïque et parlait ou chantait devant une embouchure de la caisse. Le son de la voix produisait, dans le diaphragme, des vibrations rapides, et chacune de ces vibrations établissait ou interrompait le contact avec le fil du courant, contact composé d'une pointe de platine. Le courant fourni par une pile était, de cette ma-

nière, interrompu à chaque vibration du diaphragme, ce qui donnait autant d'aimantations et de désaimantations d'un électro-aimant lié au diaphragme. Tout son produit dans la caisse faisait vibrer le diaphragme et faisait vibrer également l'électro-aimant, lequel reproduisait le son initial.

Mais cet appareil ne reproduisait que des sons isolés, des sons musicaux. Il ne transportait à distance que de la *musique*. Il restait à découvrir la transmission de la parole articulée, c'est-à-dire le *téléphone*.

C'est à un physicien, anglais d'origine, mais naturalisé américain, M. Graham Bell, qu'est due la découverte du *téléphone*.

M. Graham Bell affirme que cette invention a été le résultat de ses longues et patientes études et expériences sur les vibrations sonores. Son père, Alexandre Melville Bell, d'Édimbourg, qui avait étudié sérieusement la physique, était parvenu, à ce qu'il nous assure, à construire un larynx humain. Son fils se joignit à lui, pour continuer ces recherches, en profitant des travaux de M. Helmholtz.

La construction d'un *harmonica électrique à clavier* fut le premier résultat de l'application de l'électricité aux instruments d'acoustique. M. Graham Bell voulut ensuite faire rendre des sons au télégraphe électrique Morse, par l'effet d'un aimant artificiel agissant sur des contacts sonores. Ce système était déjà usité dans la télégraphie ; M. Graham Bell voulait l'appliquer à son harmonica électrique, en faisant usage d'appareils renforceurs. Mais cette idée se trouva réalisée par plusieurs autres inventeurs, par MM. Paul Lacour, de Copenhague, Elisha Gray, de Chicago, Varley et Edison, de New-York.

Dès ce moment, M. Graham Bell s'occupa activement de recherches sur le téléphone électrique, en passant des appareils compliqués à des appareils simples. De perfectionnement en perfectionnement il en arriva aux dispositions qui sont actuellement adoptées pour le téléphone.

En 1876, on vit à l'Exposition de Philadelphie le premier modèle du *téléphone* de M. Graham Bell. Cet appareil excita une curiosité générale, comme il est aisé de le comprendre. En effet, il transmettait véritablement la parole. C'était le miracle de l'acoustique.

En 1877, M. Graham Bell démontra, par des expériences publiques, la réalité de sa découverte. Il installa son télé-

phone à Boston, et, en se servant du fil conducteur du télégraphe électrique, il put entretenir une conversation avec une personne placée à l'autre extrémité du fil, à Malden, à la distance de 9 kilomètres.

M. Graham Bell exposa ensuite son appareil à Salem. La distance de cette ville à Boston est de 22 kilomètres. A Boston on entendit très nettement les paroles prononcées par M. Bell à Salem. Pour cela, une personne, à Boston, n'eut qu'à s'approcher du petit appareil, en forme de boîte allongée, au fond duquel les vibrations étaient imprimées par la voix à une armature en fer donnant naissance à des ondes sonores, lesquelles, grâce au fil télégraphique, transportaient à la station d'arrivée les mots ainsi articulés.

M. Bell était prévenu par un autre fil télégraphique du moment où allaient se faire les épreuves.

Les assistants de Salem, en appliquant l'oreille au cornet qui terminait l'appareil, entendirent les sons et les paroles envoyées de Boston, et firent retentir la salle d'applaudissements enthousiastes.

Des transmissions inverses furent faites, et avec le résultat le plus favorable. Les spectateurs de Boston entendirent les paroles et les chants de Salem.

C'est au mois de juin 1877, que cette curieuse expérience fut faite à Boston. Deux mois après, l'appareil de M. Graham Bell était présenté à l'Académie des sciences de Paris et aux sociétés savantes de Londres, et il excitait une admiration générale chez les savants et le public.



Donnons maintenant la description du téléphone de M. Graham Bell.

Le téléphone, tel que M. Graham Bell l'a imaginé, en 1877, et tel qu'il fonctionne aujourd'hui, sous la forme la plus généralement employée, se compose d'une petite boîte circulaire en bois, portée par un manche également en bois, et contenant un barreau aimanté, lequel peut avancer ou reculer au moyen d'une vis. Une bobine magnétique est fixée à l'extrémité libre du barreau. Les bouts du fil de cette bobine aboutissent à l'extrémité inférieure du manche, par

deux tiges de cuivre, qui traversent le manche dans toute sa longueur, pour venir se relier à deux boutons d'attaché, où sont fixés les fils du circuit voltaïque.

La lame vibrante est en fer très mince, revêtu d'étain. Elle est placée au-dessus de l'extrémité polaire du barreau aimanté. Sa forme est celle d'un disque dont les bords sont appuyés sur une bague en caoutchouc, qui le fixe fortement sur le contour de la boîte, laquelle est formée de deux parties s'ajustant l'une sur l'autre. La lame vibrante doit être le plus près possible de l'extrémité de l'aimant, mais pas assez pour entrer en contact avec lui sous l'action des vibrations de la voix.

La figure 386, qui donne une coupe verticale de la boîte et du tube contenant les organes mécanico-physiques du téléphone, fera comprendre le jeu de cet instrument.

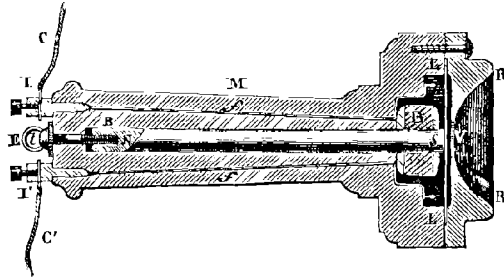


Fig. 386. Coupe intérieure du téléphone de Bell.

Le tube M est la coupe verticale du manche adapté à la boîte. Ce tube M renferme une tige d'acier aimanté, NS, disposée horizontalement. Cette tige aimantée est fixée à sa place par la pression d'une petite vis *t*, et, selon qu'on fait avancer ou reculer cette vis, on fait avancer ou reculer la tige aimantée, NS, pour régler l'appareil, c'est-à-dire pour placer la tige au point le plus convenable en regard du diaphragme, ou lame vibrante, LL. Une petite bobine électro-magnétique, B, est fixée à l'extrémité du barreau aimanté, NS.

Toute bobine électro-magnétique se compose d'un long fil métallique entouré de soie, matière isolante. C'est dans la petite bobine, B, enveloppée de fils parcourus par le courant électrique, que doit se développer la série de courants d'induction, par suite de l'interruption et du rétablissement successifs du courant qui parcourt la tige aimantée, NS. Les

extrémités des deux fils de la bobine traversent le manche. comme on le voit sur la figure 386, où ils sont indiqués par les lettres *f, f*, et viennent se relier à deux boutons d'attache, *I, I'*, auxquels on fixe les fils *C, C'* du courant électrique.

En face de la tige horizontale aimantée *NS*, est placée, avons-nous dit, la lame vibrante, *LL*, qui est composée de fer étamé, recouvert de vernis, et a la forme d'un disque circulaire. La paroi extérieure de cette même lame vibrante *LL*, se trouve en face de l'embouchure *RVR'*.

Quand on parle dans l'embouchure *RVR'*, les vibrations résultant de l'émission de la voix provoquent, dans la lame de fer *LL*, des vibrations correspondantes. Les mouvements de cette lame font naître, dans la bobine *B*, des courants semblables, lesquels se transportent le long des conducteurs *f, f*, et s'écoulent par les fils conducteurs, *C, C'*.

L'appareil que nous venons de décrire est le *transmetteur*. Un autre appareil, en tout semblable, est placé à la station où l'on veut transmettre le son. Ce dernier appareil, qu'on nomme le *récepteur*, reçoit des impressions vibratoires identiques à celles qu'a déterminées la voix à la station du départ, et ces mêmes vibrations sonores reproduisent les paroles prononcées dans le *transmetteur*.

Pour se servir du téléphone de Bell, on doit prononcer nettement les mots à l'embouchure du *transmetteur* que l'on tient à la main. Celui qui veut entendre la parole ainsi envoyée, applique à son oreille l'embouchure du téléphone *récepteur*.

Ces deux appareils forment un circuit fermé avec les deux fils qui les relient, mais un seul fil suffit pour opérer la transmission, si l'on fait communiquer les deux appareils avec la terre, qui sert de conducteur de retour, comme dans le télégraphe électrique.

Dans la pratique, il est bon de pouvoir disposer de deux téléphones à chaque station. On peut alors en avoir un à l'oreille, tout en parlant dans l'autre.

On entend aussi plus distinctement si l'on applique un récepteur à chaque oreille, comme le représente la figure 387.

Des différences considérables existent dans le pouvoir transmetteur des différentes voix. Il ne faut pas crier, mais s'attacher à produire des intonations claires, des articulations

distinctes, en rapprochant les sons émis le plus possible des sons musicaux.

Plusieurs personnes peuvent entendre simultanément avec le même *récepteur*. Pour cela, on prend, sur les deux fils qui réunissent les deux téléphones en correspondance, des dérivations, c'est-à-dire on pose des fils conducteurs aboutissant à différents autres *récepteurs*.

Le téléphone de M. Graham Bell est d'une prodigieuse sensibilité. Les courants induits qui le mettent en action sont les plus faibles qui puissent exister. La sensibilité électrique est



Fig. 387. Réception d'un message téléphonique.

même telle que, si le fil télégraphique qui transmet les sons passe dans le voisinage d'autres fils télégraphiques, le téléphone subit, à distance, l'action des courants qui parcourent ces derniers. Il fait alors entendre des sons, qui rappellent le bruit de la grêle tombant sur des vitres, et ces sons ont assez de force pour étouffer complètement ceux de la voix humaine que transmet l'instrument.

Un constructeur américain, M. Gower, a perfectionné le téléphone Bell en augmentant sa sonorité et le munissant d'un appel sonore, destiné à servir d'avertissement.

Nous représentons dans la figure 388 le téléphone Gower, et, pour montrer la disposition des organes placés dans la boîte métallique, nous représentons dans la figure 389 l'appareil

ouvert, c'est-à-dire le diaphragme A et la boîte, BB, sur laquelle ce diaphragme s'applique. A l'intérieur de la caisse on voit l'aimant, C. Cet aimant est replié en forme de fer à cheval ou de demi-cercle. Il est en acier et aimanté par le procédé ordinaire. Ses deux extrémités, en se repliant, présentent les deux pôles en regard l'un de l'autre. Ces deux pôles sont munis de deux semelles de fer, sur lesquelles se trouvent les deux petites bobines électro-magnétiques.

On reconnaît facilement tous ces détails en examinant, sur la figure 389, la manière dont se termine l'aimant en demi-cercle, C.

Le diaphragme, A, est en fer-blanc; il est fixé sur les bords de la boîte circulaire, BB, qui contient le tout et qui forme

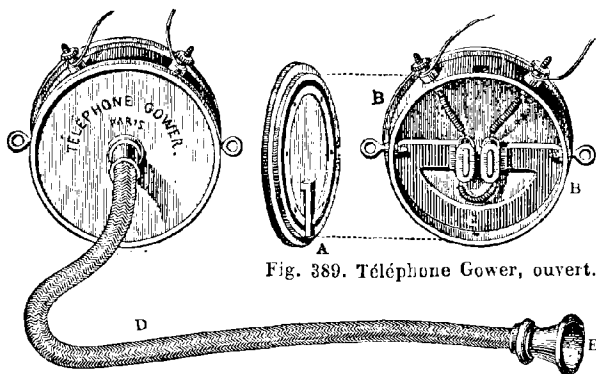


Fig. 389. Téléphone Gower, ouvert.

Fig. 388. Téléphone Gower, fermé.

une caisse sonore. La boîte est en cuivre et le diaphragme est fortement serré contre elle. Cette dernière disposition est une condition essentielle de sonorité.

Ce téléphone n'a pas d'embouchure, mais le couvercle de la boîte est percé d'un trou vis-à-vis du centre du diaphragme. Dans ce trou, on visse un tube acoustique, D, terminé par une embouchure, E.

Comme nous le disons plus haut, le téléphone Gower peut servir d'avertisseur, en soufflant tout simplement, au lieu de parler. A cet effet, le diaphragme porte, en dehors de son centre, à la moitié du rayon, une petite ouverture oblongue, dans laquelle une anche d'harmonium est adaptée à une équerre en cuivre placée sur le diaphragme. En soufflant

l'air pénètre dans ce trou et met l'anche en vibration. Ce son d'avertissement est tout à fait analogue à celui du cor.

L'avertissement étant ainsi donné, on entame la conversation et le téléphone récepteur répète les mots.

Une autre disposition du téléphone a été imaginée par M. Edison, et comme cet appareil a été adopté en Amérique et en France, en même temps que le téléphone Bell, par les compagnies qui se chargent des correspondances téléphoniques, il est essentiel de le décrire et de le représenter.

Dans le téléphone Bell le *transmetteur* et le *récepteur* sont les mêmes, l'un est entièrement semblable à l'autre. Dans le téléphone Edison, le *transmetteur* et le *récepteur* sont différents, ou du moins le *récepteur* est le même que celui de Bell, mais le *transmetteur* est tout différent. Le *transmetteur* du téléphone Edison fait usage de la pile, et il est fondé sur un principe tout à fait remarquable et nouveau.

La figure 390 représente le *transmetteur* du téléphone Edison. Ce *transmetteur* fait partie d'un circuit voltaïque fermé, par lequel passe, d'une manière continue, le courant d'une pile. Il se compose d'une membrane vibrante en fer, LL, superposée à un couple de lames de platine

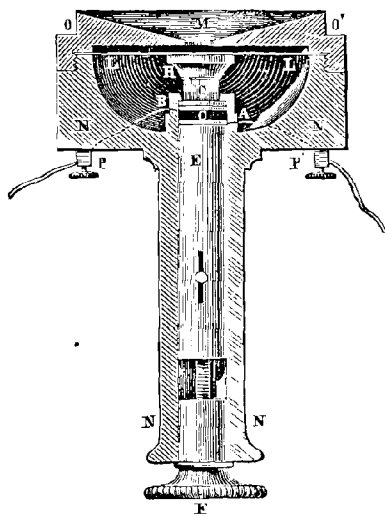


Fig. 390. Téléphone Edison. (*Transmetteur*).

A et B, qui pressent entre elles un disque de charbon, C. Un disque de liège, H, est interposé entre la lame vibrante LL, et le disque de platine, B. On règle la pression qu'exerce la lame de charbon contre le platine à l'aide de la vis F, placée à l'extrémité de la tige E, laquelle supporte tout ce petit assemblage. Il y a, comme dans le transmetteur de Bell, une embouchure OMO', placée au-devant de la cage NN de l'appareil.

Ce système constitue un conducteur électrique dont la ré-

sistance varie selon la pression, c'est-à-dire selon le nombre de points de contact qui se font entre le disque de charbon, C, et les disques de platine, A et B. Si l'on parle devant la membrane LL, en plaçant la bouche à l'embouchure OMO', les lames de platine, A et B, vibrent ; leurs mouvements vibratoires se transmettent au disque de charbon, C, et modifient les contacts qui existaient entre ces deux organes, et par suite modifient la conductibilité électrique de ces deux charbons. Par l'effet de la variation apportée à la *résistance électrique*, le courant électrique qui parcourt constamment le système, est modifié dans son intensité, et, par suite de cette modification dans l'intensité du courant électrique, il y a production de courants induits.

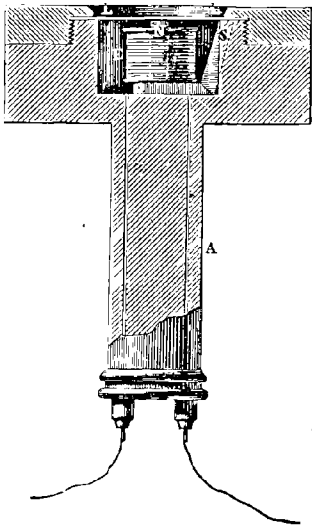


Fig. 391. Téléphone Edison.
(Récepteur.)

Ce sont ces courants induits qui, par l'intermédiaire du fil télégraphique qui joint le *transmetteur* et le *récepteur*, se rendent au *récepteur* et reproduisent, dans ce *récepteur*, les sons de la voix venant de l'embouchure du *transmetteur*.

Le *récepteur* du télégraphe Edison est le même que le *récepteur* de Bell. Il ne présente avec ce dernier que quelques différences, que met en évidence la figure 391.

« L'aimant NS, dit M. du Moncel, dans son ouvrage sur le *Téléphone*, est recourbé en fer à cheval, et la bobine magnétisante E recouvre seulement un des pôles N. Ce pôle occupe précisément le centre de la lame vibrante, LL, tandis que le second pôle, S, est près du bord de cette lame. Les dimensions elles-mêmes de la lame sont considérablement réduites ; sa surface est à peu près celle d'une pièce de cinq francs, et elle est enclavée dans une espèce de rainure circulaire qui la maintient dans une position parfaitement déterminée. En raison de cette disposition, le manche, A, de l'instrument est en bois plein, et l'espace vide où se trouve le système électro-magnétique est un peu plus développé que dans le modèle de Bell ; mais l'on s'est arrangé de manière à éviter les échos et à en faire une sorte de caisse sonore apte à amplifier les sons. »

Après cet exposé de la constitution des appareils téléphoniques aujourd'hui en usage, il nous reste à aborder la théorie de ces appareils, théorie que nous n'avons fait qu'effleurer dans le cours de cette description, mais qu'il faut maintenant aborder directement.

On vient de voir que le téléphone se compose, comme le *télégraphe à ficelle*, d'un *transmetteur*, dans lequel on parle, et d'un *récepteur*, par lequel on entend ; le tout étant relié par un fil de fer, le fil conducteur ordinaire d'une ligne télégraphique. On a vu également que le *transmetteur* se compose d'une embouchure au-dessous de laquelle est disposée une membrane de fer très mince, qui vibre par l'effet de la voix, et qu'en regard de cette membrane vibrante se trouve une tige d'acier aimantée, une bobine électro-magnétique, dont l'extrémité se relie à une autre bobine placée à l'autre station dans le *récepteur*. Voici ce qui résulte du voisinage de l'aimant et de la lame de fer.

Entre l'aimant et la lame de fer vibrante, il y a des rapports physiques. Si la lame de fer se rapproche de l'aimant, le magnétisme de cet aimant est attiré ; si elle s'en éloigne, le magnétisme de l'aimant recule. Chaque mouvement de la membrane résultant de la vibration de la voix fait varier le magnétisme de l'aimant, et cette variation se traduit par un déplacement de l'aimantation de la bobine d'acier.

D'après une grande loi physique mise en évidence au milieu de notre siècle, chaque variation du magnétisme dans un aimant, fait aussitôt naître dans cet aimant un courant électrique d'induction, courant qui correspond à la variation survenue dans cette aimantation.

On démontre ce fait, dans les cours de physique, par un très curieux appareil qu'on appelle l'*exploseur de Bréguet*, et plus familièrement le *coup de poing de Bréguet* ; on verra bientôt pourquoi. Dans cet appareil, que représente la figure 392, l'armature A, d'un aimant, peut être subitement arrachée, de l'aimant lui-même, D, par un mouvement brusque, par un coup de poing, par exemple. Un ressort maintient l'armature A appliquée contre l'aimant ; mais si l'on frappe d'un coup de poing le disque B, on fait basculer le levier A grâce à la charnière qui divise en deux ce levier, et l'armature, A, est subitement détachée de l'aimant, D. Au même

instant, un courant d'induction s'établit dans cet aimant, D, et comme les deux extrémités de cet aimant sont entourées de deux bobines de fil de cuivre isolé, E, le courant d'induction est recueilli, amplifié, et s'écoule par l'extrémité des fils, *a*, *b* de la bobine.

On donne à cet appareil le nom d'*exploseur*, parce qu'il est consacré à provoquer à distance, au moyen d'un simple aimant violemment séparé de son armature, une étincelle électrique, étincelle qui suffit à enflammer des fourneaux de mine. On est ainsi dispensé de faire usage d'une pile, pour provoquer des explosions à distance. Il suffit, en effet, de pratiquer une solution de continuité dans le fil conducteur partant des

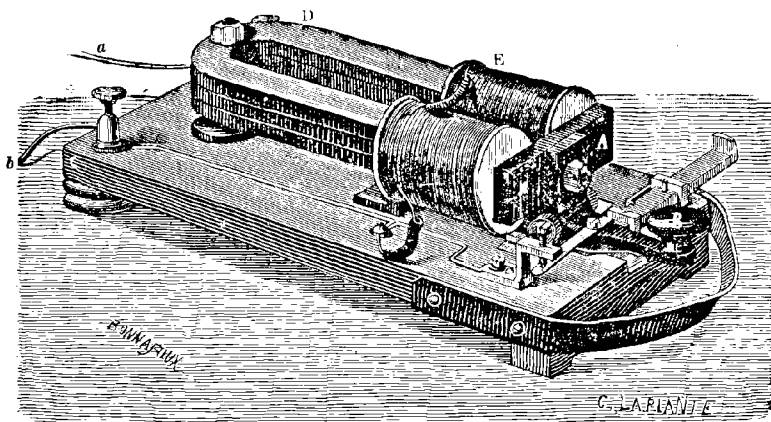


Fig. 392. Exploseur de Bréguet.

bobines E et du fil *a*, *b*, pour obtenir une étincelle, qui peut enflammer la poudre d'une mine ou d'une torpille.

Nous avons rappelé que cet instrument de physique est connu sous le nom de *coup de poing de Bréguet*, pour faire comprendre comment, dans le téléphone, un courant d'induction s'établit dans le fil de la ligne téléphonique, au moment où la lame de fer vibrante vient à faire varier l'aimantation dans les bobines placées en regard d'elle. Les courants d'induction produits par les vibrations de la membrane de fer sont lancés dans l'appareil récepteur qui se trouve à l'autre station. Ils y produisent des variations de magnétisme identiques à celles qui leur ont donné naissance. En d'autres termes,

les variations de magnétisme de l'aimant déterminées par les sons de la voix, produisent dans la membrane du *transmetteur*, des mouvements identiques à ceux qui ont été provoqués dans la membrane du *récepteur*. La répétition des mêmes mouvements vibratoires entraîne nécessairement la répétition des mêmes sons de la voix.

Telle est l'explication qu'il faut donner du mécanisme physique qui permet de transmettre à distance la parole humaine, résultat merveilleux qui constitue une des plus étonnantes conquêtes de la science moderne, et qui avait paru pendant des siècles absolument au-dessus des ressources de l'homme.

Nous ferons remarquer, à cette occasion, que le téléphone l'emporte de beaucoup, au point de vue pratique, sur le télégraphe électrique, qui a paru si longtemps le comble de l'art.

Le télégraphe électrique est un appareil délicat et compliqué, avec rouages, poids, échappement, le tout d'un prix élevé. Ici, rien de pareil : tout se réduit à un étui de bois contenant un noyau d'acier et à une membrane de fer ; la valeur du tout ne dépasse pas dix francs.

Le télégraphe électrique exige une pile toujours présente, toujours prête à l'action, pour fournir, quand on en a besoin, le courant électrique. Avec le téléphone Bell (non avec le téléphone Edison) la pile est supprimée, le courant naît de lui-même, sans dépenses, sans préparation, sans qu'on ait besoin de s'en occuper, par le jeu même de l'appareil.

Le télégraphe électrique demande une manipulation spéciale. Il faut faire courir une aiguille sur un cadran et s'arrêter à la lettre qu'on veut bien signaler ; ou frapper de petits coups longs ou brefs, avec le marteau de Morse ; ou enfin jouer sur un clavier, et il faut apprendre ce jeu, ce qui est toute une étude. Avec le téléphone il ne faut que parler : c'est un jeu que tout le monde connaît.

Enfin, les signes télégraphiques ont besoin d'être interprétés, et comme ces signes composent une écriture quelquefois complexe, il faut traduire cette écriture. Avec le téléphone, il suffit de savoir écouter. On reconnaît, avec quelques altérations, la voix même de l'interlocuteur, ce qui est un gage d'authenticité. On parle, on répond : c'est une conversation réglée, aussi abondante, aussi prolongée qu'on le veut, une réelle suppression de toute distance et de tout intermédiaire. On ne pouvait

rêver rien de mieux, rien de plus simple, rien de plus complet.

Quand le téléphone sera devenu d'un usage général, il rendra donc aux particuliers des services signalés. Il remplacera avec beaucoup d'avantages le télégraphe électrique, non, il est vrai, pour les communications entre des villes séparées les unes des autres par de grandes distances, mais à l'intérieur d'une même ville.



Ceci nous conduit à parler de l'usage pratique qui a été fait du téléphone depuis son invention jusqu'au moment actuel.

L'usage public du téléphone n'est pas encore très répandu en France, mais en Amérique il a pris une certaine extension. A New-York, il y a déjà 1,400 fils téléphoniques, à Boston 3,000, et plus de 30,000 à Chicago. Beaucoup d'autres villes s'occupent de créer leur réseau. On compte en tout, aujourd'hui, plus de 130,000 fils téléphoniques aux États-Unis.

Pour prendre un exemple, nous dirons comment est organisé le service téléphonique dans la ville de Denver (État du Colorado).

Une *Compagnie téléphonique*, moyennant une redevance de 12 francs 50 centimes par mois, pour chaque abonné, installe dans sa maison un *récepteur* et un *transmetteur*.

Le *récepteur* est une petite boîte carrée qui est appliquée au mur, dans la partie la plus fréquentée de l'habitation. Sur la face antérieure de cette boîte se trouve une ouverture ronde, du diamètre d'une pièce de cinq francs environ.

A l'un des côtés se remarque une poignée de métal, et de l'autre pend un téléphone, qui se rattache à l'appareil par un fil métallique d'un mètre environ.

En tirant la poignée de métal on fait résonner une sonnette électrique d'appel placée au bureau central de la Compagnie, et l'on attend, le téléphone près de l'oreille, qu'un employé placé à ce même bureau vous ait prévenu en répondant : « Voilà ! » que le signal a été entendu.

En se tenant devant l'ouverture circulaire du *récepteur*, on indique alors, à haute voix, avec quel habitant de la ville, dont on donne l'adresse, et qui est abonné à la même compagnie (condition indispensable pour que le rapport puisse s'établir) on désire être mis en communica-

tion. Un avis, transmis par le téléphone, vous apprend bientôt que le correspondant est prêt à vous écouter.

Vous pouvez dès lors causer avec ce correspondant, comme s'il était à côté de vous : s'il s'agit d'un fournisseur, lui transmettre vos demandes de renseignements, recevoir ses réponses et lui donner vos commandes ; s'il s'agit d'un médecin, lui exposer le sujet de vos inquiétudes, lui demander un premier avis, recevoir ses conseils, etc.

En résumé, pour 150 francs par an, tout abonné au téléphone, dans la ville de Denver, peut instantanément causer avec un autre, quelle que soit la distance qui les sépare, et cela sans sortir de chez lui, ou sans se déranger de ses occupations.

A New-York, la correspondance téléphonique a pris, en 1879, une grande extension. Un bureau central reçoit d'un de ses abonnés l'ordre de le mettre en communication avec une autre personne, également abonnée, c'est-à-dire possédant un fil téléphonique qui va de sa maison à l'établissement central. Dès que l'ordre est reçu, le bureau central met en communication téléphonique les deux abonnés, lesquels peuvent alors se parler tout à leur aise.

Nous n'en sommes pas encore tout à fait là en France. Au mois d'août 1879, une société formée pour l'exploitation du téléphone répandit des annonces dans les journaux, pour faire connaître qu'elle allait *accueillir des abonnements pour la correspondance par le téléphone*. Ce service a commencé en 1880. La difficulté de s'entendre avec les divers détenteurs de brevets pour le téléphone ou ses accessoires a retardé pendant quelque temps l'organisation du réseau ; mais les obstacles ont été levés, et aujourd'hui Paris jouit du bienfait inappréciable de la correspondance parlée, dont l'Amérique a eu les prémices, comme elle en a eu l'invention.

Le bureau central du réseau téléphonique est établi rue Neuve-des-Petits-Champs, 66. Ce bureau central est relié par des fils conducteurs passant sous les rues ou le long des égouts, pour aboutir au domicile de chaque abonné.

C'est le téléphone Gower dont on fait usage dans l'établissement de la rue Neuve-des-Petits-Champs.

Quant à la manière dont le réseau téléphonique est installé et au système suivi pour mettre en rapport deux abonnés

l'un avec l'autre, nous en emprunterons l'explication au journal *la Science pour tous*, qui a donné la description suivante du bureau central de la rue Neuve-des-Petits-Champs.

« Dans une salle, le long des murs, sont aménagés un certain nombre de compartiments distincts ayant chacun son tabouret, sa tablette, son téléphone, un cornet acoustique, pour renforcer en cas de besoin les sons téléphoniques perçus par l'oreille, puis fixé au mur, un tableau commutateur, portant des numéros et servant à établir les communications entre les correspondants. Le bureau central se trouve relié par des fils conducteurs ou fils télégraphiques, courant dans les galeries d'égouts, avec le domicile de chaque abonné. Des employés, mis à la disposition d'un certain nombre d'abonnés formant groupe, sont, nuit et jour, en station au bureau central, pour attendre les appels des abonnés et se conformer à leurs instructions.

« On pressent alors comment, le bureau central se trouvant en quelque sorte le nœud d'un vaste réseau de fils conducteurs se dirigeant vers tous les points de la ville, deux abonnés vont pouvoir correspondre directement entre eux.

« Chaque abonné possède en propriété exclusive, par le fait de sa location, un numéro d'ordre inscrit au tableau commutateur où vient aboutir le fil de son domicile.

« Supposons, par exemple, l'abonné n° 7 voulant correspondre avec le n° 12.

« L'abonné n° 7 souffle dans son téléphone, pour appeler l'employé du bureau central, et il attend la réponse. De son côté, cet employé saisit le téléphone marqué n° 7, souffle à son tour et prévient ainsi l'abonné n° 7 qu'il se met à sa disposition. L'abonné n° 7 lui dit alors, par voie téléphonique : « *Prévenez l'abonné n° 12 que je vais lui parler.* » L'employé saisit le téléphone correspondant au n° 12, souffle dans l'embouchure et attend ; puis le n° 12 ayant répondu à l'appel, l'employé le prévient qu'il va le mettre en communication directe avec l'abonné n° 7 ; il donne le même avis à ce dernier, et au moyen de dispositions particulières, il opère la jonction du fil arrivant du domicile de l'abonné n° 7 au fil de l'abonné n° 12. Les deux fils n'en font plus qu'un seul et les deux abonnés peuvent s'entretenir tout à leur aise de leurs affaires, sans que personne puisse surprendre les paroles échangées.

« Le téléphone Gower, en usage au bureau central, en même temps que des appareils à pile, contient un mécanisme-signal supplémentaire dont l'emploi est nécessaire si l'on ne veut pas attribuer un employé au service de chaque abonné, ce qui serait ruineux. Un employé ayant à surveiller une trentaine d'appareils correspondant à un nombre égal d'abonnés, qui tous peuvent appeler à la fois, saurait difficilement quel est celui de ces trente abonnés qui l'a appelé, autrement dit, de quel téléphone est sorti le son entendu. C'est pourquoi un inventeur, M. Ader, a eu l'ingénieuse idée d'ajouter au téléphone de Gower un signal visible, le mot *répondez* qui apparaît dans une petite fenêtre circulaire per-

cée au-dessous du numéro de chaque abonné. Ce signal est retenu par l'aimant du téléphone tant que celui-ci est au repos ou pendant l'échange d'une conversation ; il se décroche et tombe seulement lorsque l'on soufflé pour envoyer le signal bruyant. C'est donc par ce mot *répondez* qu'il a aperçu à la fenêtre marquée n° 7 que l'employé a su qui l'appelait.

« Quand les deux abonnés 7 et 12 ont terminé leur correspondance, ils soufflent chacun dans leur téléphone ; le mot *répondez* apparaît de nouveau, et l'employé de bureau, ainsi prévenu, rompt la communication entre les deux abonnés pour remettre les appareils au repos ou en attente. »

Peu de temps après la création de la *Société téléphonique* qui a son siège dans la rue Neuve-des-Petits-Champs, s'est formée une seconde société, ayant le même but, c'est-à-dire les communications téléphoniques dans Paris. Cette nouvelle société a son bureau central, 45, avenue de l'Opéra. Elle ne fait pas usage du téléphone Bell, ni du téléphone Gower, simple modification du téléphone Bell, mais bien du téléphone Edison, qui comporte, ainsi qu'on l'a vu dans la description de cet appareil (pages 539-540), l'usage d'une pile voltaïque.

Chaque abonné reçoit donc quelques éléments d'une pile Lécanché. L'administration se charge de l'entretien de la pile. Du reste, les soins sont très rares : on sait que la pile Lécanché peut marcher cinq ou six mois sans qu'on y touche. On a, d'ailleurs, la précaution de la visiter de temps en temps, et de la remplacer si elle a cessé de bien fonctionner.

La présence de ce générateur d'électricité simplifie beaucoup les choses. La pile permet, notamment, de donner avec la plus grande facilité, au moyen d'une sonnerie électrique, l'avertissement à l'abonné du moment de l'expédition de la dépêche.

Nous avons placé au frontispice de ce volume la reproduction exacte de la salle du bureau central des téléphones de l'avenue de l'Opéra. Ce dessin va nous permettre d'expliquer le jeu et le fonctionnement de la correspondance entre deux abonnés de Paris, au moyen du téléphone Edison.

Sur le côté droit du dessin (A), on voit l'abonné parlant dans le téléphone ; sur le côté gauche (B), on voit l'abonné recevant la communication verbale qui lui est adressée. Au milieu est le bureau central (C) chargé de mettre en rapport les deux abonnés.

Dans le bureau central se trouvent : 1° les appareils télé-

phoniques et la sonnerie électrique servant de signal d'avertissement; 2° un premier tableau, composé d'écussons portant des numéros : les numéros de ces écussons correspondent au fil et au domicile de chaque abonné; 3° un second tableau, composé de bandes horizontales et de bandes verticales superposées qui croisent les premières, sans les toucher. Les bandes verticales portent chacune, au sommet, un numéro qui est celui de l'abonné déjà inscrit sur les écussons du premier tableau.

Ces dispositions étant rappelées, voici comment deux abonnés peuvent se parler, après avoir été mis en rapport l'un avec l'autre, comme nous allons l'expliquer, par l'employé du bureau central.

L'employé du bureau central est placé devant les deux tableaux ci-dessus décrits. Il entend retentir la sonnerie électrique, qui l'avertit qu'un abonné l'appelle, et il voit, presque au même moment, le numéro de l'abonné apparaître à l'écusson du premier tableau.

Aussitôt il se porte au second tableau, celui sur lequel le numéro de chaque abonné est inscrit sur une des bandes verticales.

Nous représentons ce tableau à part dans la figure 393.

Derrière les bandes verticales 1, 2, 3, 4, 5, etc., d'autres bandes horizontales, A, A', A'', croisent, avons-nous dit, sans les toucher, les bandes verticales. Mais il suffit d'enfoncer une cheville métallique dans un des trous de la bande de dessus, pour la relier électriquement à la bande de dessous. Supposons que le n° 3 ait apparue sur l'écusson, et que, par conséquent, ce soit l'abonné n° 3 qui ait appelé, l'employé prend, au bas du tableau, une cheville métallique qui était fixée sur la ligne portant le mot *fil de terre* et il enfonce cette cheville sur la bande verticale du n° 3. De cette manière il met le fil du téléphone en communication avec l'abonné n° 3 qui vient de lui parler. Puis, reprenant son téléphone, il dit à l'abonné : « Vous avez appelé, Monsieur, à quel numéro devez-vous parler? — Au n° 10, répond l'abonné. — Bien, Monsieur, répond l'employé, je vais vous mettre en rapport avec le n° 10. »

Ayant effacé le signal d'appel du n° 3, l'employé prend, au bas du tableau, la cheville du n° 10, comme il avait fait pour

l'abonné appelant, et il place cette cheville sur la ligne verticale du n° 10. Il se trouve ainsi en communication avec l'abonné n° 10, et il l'appelle, en faisant retentir la sonnerie électrique.

L'abonné n° 10, ayant entendu la sonnerie d'appel, répond : « Qui m'appelle? — C'est, répond l'employé, le n° 3 qui veut vous parler. Je vais vous mettre en rapport avec lui. »

Prenant alors les deux chevilles des n° 3 et 10, il les enfonce chacune sur sa propre ligne verticale, mais dans la même ligne horizontale, A', par exemple. Ces deux chevilles, établis-

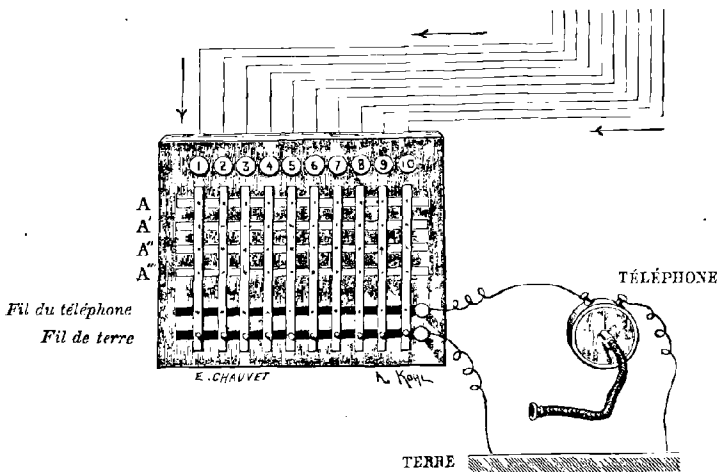


Fig. 393. Tableau pour la correspondance entre les abonnés du téléphone.

sant un contact, mettent le courant électrique en circulation entre les deux abonnés 3 et 10, lesquels, à partir de ce moment, peuvent causer entre eux, *sans que le bureau central ait connaissance de ce qu'ils disent.*

Lorsque les deux abonnés ont fini de se parler, ils en donnent avis au bureau central, par la sonnerie électrique. Leurs numéros reparaisent au tableau des écussons, ce qui montre à l'employé que les deux abonnés n'ont plus rien à se dire. Alors l'employé ôte les deux chevilles, les replace sur la ligne de terre, qui est au bas du tableau, et il attend l'appel d'autres abonnés.

Tel est le curieux et intéressant mécanisme à l'aide duquel

deux abonnés peuvent se parler et se répondre aussi longtemps qu'ils le désirent, envoyer des ordres, recevoir des renseignements et expédier toutes les communications verbales imaginables.

Le bureau central du téléphone Edison est situé, comme il a été dit plus haut, au n° 45 de l'avenue de l'Opéra. Dans la visite que je fis, au mois d'avril 1880, dans cet établissement, on voulut bien me mettre en communication avec un abonné, avec le journal *le XIX^e Siècle*, situé rue Cadet. Dans le bureau du journal se trouvait, par hasard, un employé de la Compagnie, qui me répondit et entretint avec moi une petite conversation. La voix était un peu faible, un peu nasillarde, mais l'accent était parfaitement reconnaissable. L'employé termina le colloque en me chantant un petit air, comme pour justifier le mot de Brid'oison, dans le *Mariage de Figaro* : « *Tout finit par des chansons !* » L'air et le chant m'arrivaient avec la plus grande netteté.

Je crois qu'après cette narration fidèle le lecteur demeurera convaincu de l'importance et de l'avenir de la merveilleuse invention dont l'Amérique nous a dotés. Chacun fera certainement des vœux pour que le téléphone, qui essaye en ce moment ses premiers pas à Paris, obtienne une réussite complète, et pour que la France et l'Europe puissent jouir bientôt des nouveaux et inestimables avantages que la science vient ainsi apporter à la pratique de la vie.



XXXIII

LE PHONOGRAPHE

Le *phonautographe* de Léon Scott prépare la découverte du phonographe. — Edison construit en 1878 le phonographe. — Explication du mécanisme de cet instrument. — Manière dont les sons s'inscrivent et se conservent sur le cylindre tournant. — Comment les sons inscrits sur la bande d'étain se répètent en faisant tourner à l'envers la manivelle de l'instrument. — Les applications du phonographe n'ont que très peu d'importance. — Remarque sur l'étymologie du mot *phonographe*.

Le phonographe est une invention de date récente. C'est au mois de mai 1878 que l'on apprit en Europe qu'on venait d'inventer, en Amérique, un instrument qui enregistrait la parole, la conservait et la reproduisait.

La première annonce de cette découverte fut accueillie par le public et par les savants avec beaucoup d'incrédulité. On ne pouvait ni admettre ni comprendre qu'un agencement mécanique quelconque pût remplacer les organes de la voix, produire les effets de la bouche, de la langue et du larynx. Il fallut bien cependant se rendre à l'évidence. Aujourd'hui, le phonographe est un instrument dont le mécanisme n'a plus rien de mystérieux.

L'inventeur du phonographe est M. Edison, le célèbre mécanicien de New-York ; mais il est juste de reconnaître qu'un observateur français, un homme patient et modeste, Léon Scott, a donné le premier la solution d'une partie du problème. Simple typographe et correcteur d'imprimerie, Léon Scott consacra dix années de sa vie à la poursuite du problème : *la parole s'inscrivant elle-même*, et il atteignit par-

faitement son but par l'invention de son *phonautographe*, appareil connu de tous les physiciens, car il a été souvent mis en expérience dans les cours de physique et dans les conférences ¹.

Dès l'année 1856, Léon Scott avait combiné l'instrument qu'il nommait *phonautographe*. Le premier, il avait

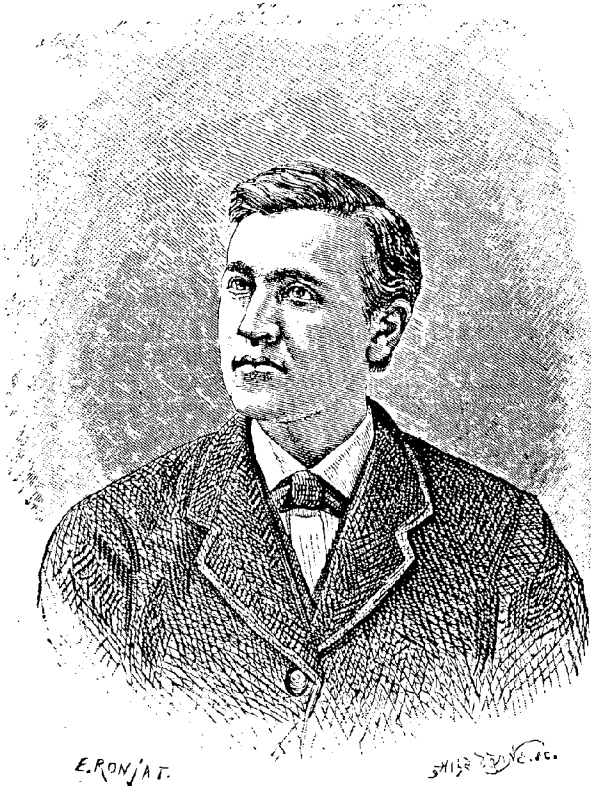


Fig. 304. Edison.

imaginé d'inscrire les vibrations sonores au moyen d'un style métallique se promenant sur une surface de papier revêtu de noir de fumée.

Cet instrument enregistrait la parole, mais il ne la repro-

1. Léon Scott a publié, au mois de mai 1878, une brochure, dans laquelle il revendique ses droits de premier inventeur du phonographe. Cet opuscule qui renferme l'histoire, riche en enseignements, des luttes d'un travailleur obscur contre l'indifférence des corps savants et les lacunes de la loi, est intitulé : *Le problème de la parole s'écrivant elle-même, par Léon Scott de Martinville, typographe.*

duisait pas. Ce n'était donc que la moitié de la solution du problème. M. Edison est parvenu à enregistrer et à reproduire la parole. Ainsi se trouva achevée la solution du problème abordé par Léon Scott, vingt ans auparavant.

M. Edison avait pris, le 31 juillet 1877, un brevet pour la répétition des signaux du télégraphe Morse. Il indiquait, dans ce brevet, le moyen d'enregistrer les signaux du télégraphe Morse avec des dentelures effectuées par un *style traceur* sur une feuille de papier entourant un cylindre creusé d'une rainure en spirale. Les dentelures produites par le style de-

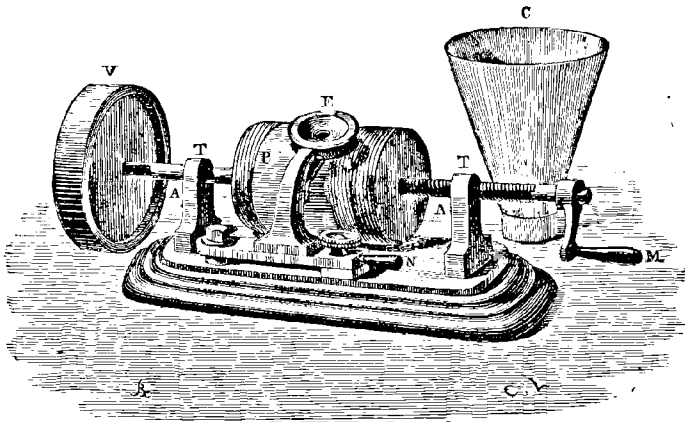


Fig. 395. Le phonographe.

vaient, en repassant sous la pointe, transmettre automatiquement la même dépêche.

Ce n'est qu'après cette application du *style traceur* à l'enregistrement des signaux du télégraphe Morse, que M. Edison eut l'idée d'enregistrer et de reproduire la parole. C'est donc bien à M. Edison que revient l'invention du *phonographe*.

Le phonographe ressemble à une serinette ou à une boîte à musique, et nous allons voir qu'au fond son mécanisme se rapproche de celui de la vulgaire serinette. L'appareil se compose, comme le montre la figure 395, d'un cylindre en cuivre, P, disposé horizontalement et soutenu par un axe que l'on fait manœuvrer avec une vis, A A. Cette vis tourne dans un écrou, lequel fait avancer ou reculer le cylindre P. Une manivelle, M, permet de faire tourner le cylindre P, lequel,

tout en tournant, avance ou recule, suivant le sens dans lequel on fait agir la manivelle.

Une embouchure, E, est fixée sur le cylindre.

Au fond de cette embouchure E, se trouve un diaphragme métallique, semblable à celui du téléphone, et dont le centre porte, comme la lame vibrante du téléphone, une pointe en métal, regardant le cylindre et peu distante de celui-ci.

Si l'on parle dans l'embouchure E, les vibrations de la voix doivent faire vibrer la membrane métallique placée à l'orifice de l'embouchure, et le style fixé à cette membrane doit tracer une spirale sur la surface du cylindre, si, pendant que cette membrane vibre par l'effet de la voix appliquée sur l'embouchure, la main droite de l'opérateur agit sur la manivelle M, pour faire tourner le cylindre, lequel avance tout à la fois, comme il vient d'être dit, en ligne droite et horizontalement.

Or, autour du cylindre P, on a, d'avance, appliqué une feuille d'étain, et l'on a tracé sur cette bande de feuille d'étain une rainure, un sillon creux, en forme de spirale.

Pour régler la pression suivant laquelle la pointe traçante doit s'appuyer sur la bande d'étain, et y imprimer des marques correspondant aux vibrations de la voix, on se sert d'un petit système articulé dont on comprendra bien le jeu, grâce à la figure 396, qui donne une coupe verticale de l'appareil.

Les lettres, N, R, S, font voir comment est supportée la lame vibrante L, L, placée près de l'embouchure, E. Ce système de support se compose d'un levier articulé, NS, et d'une rainure dans laquelle s'engage une vis R. La lame vibrante L, L, placée dans l'embouchure E, est supportée en bas par une large pince, S. Un manche, V, qui termine ce levier, permet, quand on desserre la vis R, de faire avancer ou reculer la pointe traçante placée dans l'embouchure. Pour régler la pression de la pointe traçante, il suffit donc de tirer plus ou moins le manche V et de serrer fortement la vis R quand on a obtenu le degré convenable de pression.

Quand on parle dans l'embouchure E, tout en tournant la manivelle, comme le montre la figure 397, le diaphragme métallique se met à vibrer, et la pointe qu'il porte vient toucher la feuille d'étain à l'endroit où elle passe sur le sillon en spirale. Lorsque la membrane et le style exécutent leurs

vibrations, la feuille d'étain n'est pas toujours frappée par le

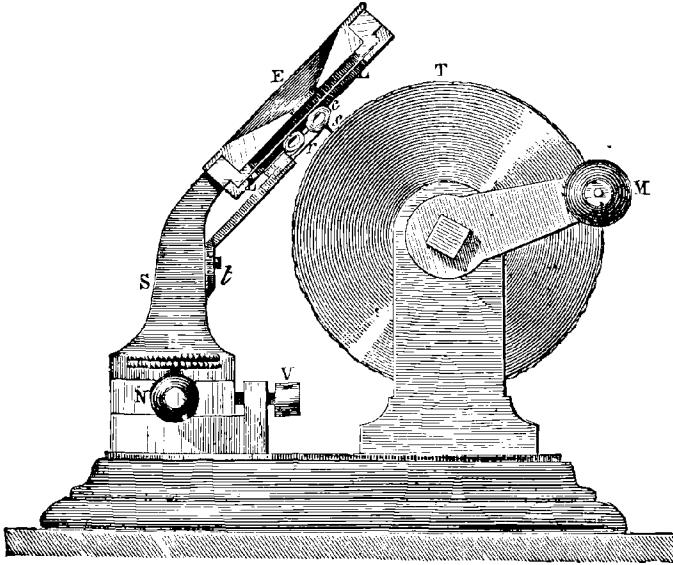


Fig. 396. Coupe du phonographe.

style. Alors les traits imprimés sur la feuille d'étain sont den-

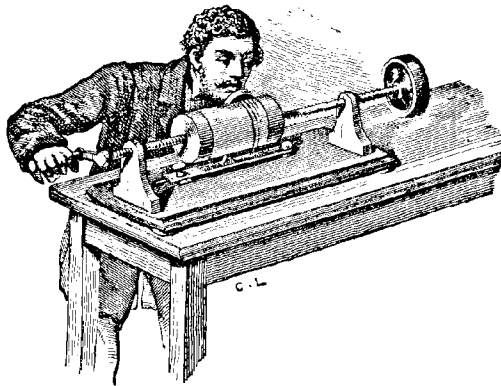


Fig. 397. Enregistrement des sons dans le phonographe.

telés. Ces dentelures sont la reproduction exacte des vibrations des sons qui les ont produites.

Il reste maintenant à répéter, à faire entendre les paroles ainsi imprimées sur le papier d'étain.

Les sons émis par la voix sont représentés, comme nous venons de le dire, par des vibrations qui ont été enregistrées sur le métal. Il faut que ces vibrations renaissent au dehors, sous la forme des sons primitifs.

La première condition, c'est d'exécuter la reproduction des sons dans la même durée de temps qu'elles ont été faites, c'est-à-dire qu'il importe de faire tourner le cylindre avec la même vitesse qu'il avait pendant qu'il inscrivait les vibrations sonores.

Pour la reproduction des sons de la voix, c'est tout simplement le même appareil qui les reforme, par le même moyen qui avait servi à les enregistrer. Le phonographe *enregistreur* est le même que le phonographe *répétiteur*.

La machine parle au moyen de la feuille d'étain enroulée et de la pointe qui, appliquée de nouveau à sa surface, fait de nouveau vibrer la membrane métallique. Les vibrations de celle-ci sont traduites au dehors et amplifiées par l'intermédiaire de l'embouchure, à laquelle on peut appliquer un porte-voix en carton mince.

Cette reproduction de la voix correspond donc à sa réception par le phonographe. La pointe qui touche le cylindre tournant reçoit de lui les soubresauts que lui avait imprimés la membrane mise en mouvement par la voix, et les mouvements de la marche du cylindre sur la feuille d'étain agissent sur la membrane de manière à lui faire répéter les sons qu'avait émis la voix, sous l'impulsion des lèvres.

Ainsi, le mécanisme est, comme nous le disions en commençant, très analogue à celui des scrinettes, des orgues de Barbarie et des boîtes à musique. Dans le phonographe, la machine inscrit elle-même les sons sur le cylindre, puis elle traduit en voix ce qu'elle a inscrit en petites aspérités sur ce cylindre.

On met donc, avec le phonographe, la parole en porte-feuille.

Dans l'échelle musicale, la hauteur des sons dépend du nombre des vibrations fournies par le corps vibrant dans un temps donné. Conséquemment, la parole peut être reproduite par le phonographe sur un ton dont l'élévation dépend

de la vitesse de rotation que l'on donne au cylindre. Cette vitesse est-elle la même que celle de l'enregistrement, le ton des paroles reproduites est le même que le ton des paroles prononcées. Si cette vitesse est plus grande, le ton est plus élevé, et si elle est moins grande, le ton est plus bas.

Comme les appareils tournés à la main n'ont pas de mouvement très régulier, il en résulte que la reproduction du chant est toujours défectueuse. L'instrument chante faux, ou ne donne que des sons peu perceptibles.

Pendant l'automne de l'année 1878, un représentant de M. Edison donnait, à la salle des conférences du boulevard des Capucines, à Paris, des séances publiques, moyennant 2 francs d'entrée. La reproduction de la voix ordinaire était satisfaisante, mais la reproduction du chant était grotesque. Le démonstrateur chantait, d'une voix de stentor, dans l'appareil, cette phrase du *Barbier de Séville* :

Et l'on voit le pauvre diable,
Menacé comme un coupable.

Et quand il s'agissait de répéter la phrase de chant, le phonographe faisait entendre des sons si affaiblis, si étouffés, que l'effet était on ne peut plus ridicule. Si, au lieu de la main pour faire tourner le cylindre, on s'était servi d'un appareil d'horlogerie, la vitesse des deux mouvements de réception et de répétition étant la même, ce défaut n'eût pas existé.

Un horloger, M. Hardy, a muni le phonographe d'un mouvement d'horlogerie convenablement disposé, et avec cette addition le phonographe chante juste.

Quand la parole a été ainsi enregistrée, la théorie indique qu'on peut la reproduire plusieurs fois ; mais à chaque fois les sons deviennent plus faibles et plus confus, parce que les accidents de la feuille métallique vont en s'affaiblissant à mesure que le nombre des reproductions est multiplié.



Nous avons vu que les applications du téléphone sont d'une importance hors ligne. En est-il de même du phonographe ? Cet appareil pourra-t-il trouver des applications utiles dans la science ou dans l'industrie ?

Quand le phonographe fit son apparition en 1878, on s'exagéra beaucoup son importance. On disait que le phonographe reproduirait à volonté, avec ses intonations, avec son accent, la parole même d'un orateur ; — que l'on pourrait désormais, au coin de son feu, dans son fauteuil, entendre à loisir et faire répéter tant qu'on le voudrait le discours d'un orateur ; — qu'on se ferait faire mécaniquement la lecture d'un roman ; — qu'on entendrait à volonté tout un opéra, le chant d'un acteur célèbre, la voix d'une cantatrice en renom, etc., etc. Rien de tout cela ne peut se réaliser. Le phonographe ne reproduit pas même exactement le timbre ni les intonations de la voix. Tout au plus pourrait-il être un bon sténographe ; mais il faudrait un cylindre énorme, une feuille d'étain immense, et tout cela est impossible.

En conséquence, gardons le phonographe pour ce qu'il est, c'est-à-dire, pour un appareil de simple curiosité scientifique, curiosité de premier ordre, il est vrai ; mais ne lui demandons pas de réaliser tout ce qu'on a pu lui attribuer, dans un accès d'enthousiasme, au moment de son apparition.

Nous ferons, en terminant, une remarque concernant le nom donné à l'instrument importé d'Amérique. En grec, le mot φῶνος ne veut pas dire *voix*, mais *meurtre*. En appelant *phonographe* ce nouvel appareil, on évoque donc une idée assez pénible. C'est le mot φωνή qui signifie, en grec, *voix*. Il faudrait donc dire *phonégraphie* et non *phonographe*, si l'on voulait se conformer à l'étymologie.

Mais nous craignons bien d'être le seul de cet avis, et de prêcher notre grec dans le désert.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
I. L'IMPRIMERIE. — Époque de la découverte de l'imprimerie. — Impression tabellaire. — Gutenberg. — Fust et Schœffer. — Développement de l'imprimerie après la mort de Gutenberg. — Imprimeurs célèbres. — Description des appareils et des moyens qui servent à l'impression. — Caractères. — Composition. — Tirage. — Presse à bras. — Presse mécanique	
II. LA GRAVURE. — Date de l'invention de la gravure. — La gravure en creux et la gravure en relief. — Procédés suivis pour graver au burin et à l'eau-forte. — Presse pour le tirage des estampes, ou presse en taille-douce. — La gravure en relief sur métal. — La gravure sur bois; ses applications	20
III. LA LITHOGRAPHIE. — Principe théorique de l'impression lithographique. — Description du procédé. — Ce que c'est qu'un <i>report</i> en lithographie. — Aloys Senefelder, inventeur de cet art. — Progrès de la lithographie dans les différentes parties de l'Europe. — Son utilité spéciale. — La chromolithographie; ses procédés.....	30
IV. LE PAPIER. — Histoire de l'invention du papier. — Le <i>papyrus</i> chez les Égyptiens et les Romains. — Le papier de lin fabriqué en Orient pour la première fois. — Son importation en Europe pendant le onzième siècle. — Progrès dans la fabrication du papier. — Procédés employés pour la fabrication du papier. — Fabrication du papier à la mécanique. — Triage, lessivage et lavage des chiffons. — Défilage des chiffons. — Traitement par la soude dans le <i>lessiveur rotatif</i> . — Blanchissage de la pâte. — Mise en feuilles. — Fabrication du papier à la main. — Les succédanés du chiffon. — Les papiers de bois, de paille et d'alfa. — Le carton et sa fabrication. — Les papiers peints. — Impression des papiers peints à la main. — Impression mécanique.....	41
V. LA BOUSSOLE. — La pierre d'aimant chez les Grecs et les Romains. — L'aiguille aimantée. — Histoire de la boussole. — La boussole chez les Chinois. — La boussole connue en Europe au douzième siècle. —	

Explication des phénomènes que présente l'aiguille aimantée. — La boussole terrestre. — La boussole marine. — Déclinaison et inclinaison de l'aiguille aimantée. — Utilité de la boussole.....	58
VI. LES HORLOGES ET LES MONTRES. — Historique. — La clepsydre ou l'horloge des anciens. — Le sablier. — Le cadran solaire. — Imperfection du procédé employé au moyen âge pour la mesure du temps. — Découverte des horloges à poids. — Application du pendule des physiciens aux horloges. — Découverte des montres. — Description des horloges, des pendules et des montres. — Horloges fixes. — Régulateur des horloges. — Pendules d'appartement. — La fusée et le barillet. — Montres. — Sonnerie. — Horloges astronomiques. — L'horlogerie électrique. — Description d'une horloge mue par un courant électrique venant d'une horloge type. — Les horloges pneumatiques, leur mécanisme. — Les horloges pneumatiques établies à Vienne en 1877 et à Paris en 1880.....	72
VII. LE VERRE. — Historique. — Le verre connu des Phéniciens, des Égyptiens, des Grecs, des Romains. — Composition générale du verre. — Étude du verre à vitre, du verre à bouteille et du cristal. — Le verre trempé.....	94
VIII. LES POTERIES, LA FAÏENCE ET LA PORCELAINE. — Composition générale des poteries. — Les briques. — Les poteries communes. — Le tour à potier. — Les vases grecs et étrusques. — Les faïences. — Histoire des faïences. — Bernard Palissy. — Fabrication des faïences. — La porcelaine. — Histoire de la porcelaine. — Préparation de la porcelaine. — Façonnage des pièces. — Moulage et coulage. — Couverte et glaçure. — Cuisson. — Peinture et dorure de la porcelaine.....	117
IX. LES LUNETTES D'APPROCHE. — Histoire de l'invention des lunettes d'approche. — Frascator et J.-B. Porta. — La lunette d'approche découverte en Hollande, en 1606, par Jean Lippershey. — Première lunette vue à Paris. — Galilée construit à Venise, en 1609, la lunette astronomique d'après le bruit public de l'existence de cette lunette. — Théorie des lunettes d'approche. — Lentilles. — Effet grossissant de la lentille bi-convexe. — La lunette astronomique. — La lunette terrestre ou longue-vue. — La lorgnette de spectacle.....	142
X. LE TÉLESCOPE. — Histoire et théorie. — Le télescope de Gregory. — Le télescope d'Herschel. — Le télescope de lord Rosse. — Le télescope de Foucault.....	154
XI. LE MICROSCOPE. — Le microscope simple. — Le microscope composé. — Historique. — Théorie du microscope composé. — Applications du microscope. — Aspect que présentent au microscope diverses substances organisées, fécule, tissus, organes d'animaux, etc. — Le microscope solaire et son emploi.....	165
XII. LE BAROMÈTRE. — Principe du baromètre : la pesanteur de l'air. — Conséquence de la pesanteur de l'air. — Histoire de la découverte de la pesanteur de l'air et de la construction du baromètre. — Opinion de Galilée. — Torricelli découvre la cause de l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes. — Expériences de Pascal. — Construction	

TABLE DES MATIÈRES.

561

Pages.

du baromètre. — Baromètre à cuvette. — Baromètre à siphon. — Baromètre à cadran. — Baromètre anéroïde. — Usages du baromètre. 184

- XIII. LE THERMOMÈTRE. — Cornelius Drebbel invente le thermomètre, en 1631. — L'Académie *del Cimento* perfectionne le thermomètre de Drebbel. — Adoption des points fixes pour la graduation du thermomètre. — Thermomètre de Newton. — Thermomètre d'Amontons. — Thermomètre de Fahrenheit. — Thermomètre de Réaumur. — Thermomètre centigrade. — Manière de construire le thermomètre. — Sa graduation. — Thermomètre à mercure. — Thermomètre à alcool. — Thermomètre à air et thermomètre métallique..... 203
- XIV. LA MACHINE A VAPEUR (PRINCIPES GÉNÉRAUX). — Principe général de l'action mécanique de la vapeur. — Machines à vapeur à condensation et sans condensation. — Classification des machines à vapeur... 214
- XV. LES MACHINES A VAPEUR FIXES. — Historique. — Denis Papin. — Newcomen et Cawley. — Machine de Newcomen. — Travaux de James Watt. — Découverte de la machine à vapeur à double effet. — Découverte des machines à vapeur à haute pression. — Perfectionnement de la machine à vapeur depuis Watt. — Description des machines à vapeur fixes..... 219
- XVI. LES BATEAUX A VAPEUR. — Histoire de l'application de la vapeur à la navigation. — Denis Papin. — Dickens. — L'abbé Gauthier. — Le marquis de Jouffroy. — Les constructeurs américains Miller et Simington. — Robert Fulton. — La navigation à vapeur aux États-Unis. — La navigation à vapeur en Europe. — Description des machines à vapeur appliquées à la navigation. — Moyens propulseurs : les roues à aubes et l'hélice. — Systèmes de machines à vapeur employés sur les bateaux à roues. — Systèmes de machines à vapeur employés sur les bateaux à vapeur..... 239
- XVII. LA LOCOMOTIVE ET LES CHEMINS DE FER. — La *locomotive*. — Historique. — Joseph Cugnot. — Olivier Evans. — Trevithick et Vivian. — Origine des chemins de fer actuels. — Chemins à rails de bois dans les mines et les manufactures de l'Angleterre. — Découverte du fait de l'adhérence des roues sur les rails de fer. — Concours de locomotives à Liverpool, en 1830. — Découverte des chaudières tubulaires par Seguin aîné. — Description de la machine à vapeur dite locomotive. — Les *chemins de fer*. — Construction d'une voie ferrée. — Tunnels. — Tranchées. — Viaducs. — Wagons. — Freins. — Signaux, etc..... 254
- XVIII. LES LOCOMOBILES. — Objet spécial de la locomobile. — Historique de la locomobile. — Description de cette machine. — La locomobile agricole et la locomobile industrielle. — Les voitures à vapeur. — Principaux systèmes de voitures à vapeur..... 294
- XIX. LA MACHINE ÉLECTRIQUE. — La science de l'électricité dans l'antiquité et le moyen âge. — Guillaume Gilbert et Otto de Guericke. — Machine électrique d'Hauksbée. — Découverte du transport de l'électricité à distance. — Travaux de Dufay. — Modifications successives de la machine électrique jusqu'à nos jours. — Machine

LES GRANDES INVENTIONS.

36

électrique de l'abbé Nollet. — Machine de Ramsden. — Machine de Nairne. — La bouteille de Leyde. — Vitesse de transport de l'électricité. — Construction définitive de la bouteille de Leyde. — Analyse physique de la bouteille de Leyde.....	307
XX. LA PILE DE VOLTA. — Découverte de l'électricité dynamique. — Travaux de Galvani. — Discussion entre Galvani et Volta. — Pile de Volta. — Décomposition de l'eau par la pile. — Suite des applications de la pile à la décomposition électro-chimique des corps. — Travaux de Davy. — Découverte de la pile à auges. — Formes nouvelles données à la pile de Volta. — Théorie de la pile. — Ses effets. — Découverte de l'électro-magnétisme.....	322
XXI. LE PARATONNERRE. — Opinion des anciens sur la nature de la foudre. — Étude scientifique du phénomène de la foudre entreprise dans les temps modernes. — Opinion de Descartes et de Boerhaave sur la cause du tonnerre. — Découverte de l'analogie de la foudre et de l'électricité. — Franklin établit l'analogie probable de la foudre et de l'électricité. — Effet produit sur les savants de l'Europe par les idées de Franklin. — Démonstration de la présence de l'électricité dans l'atmosphère. — Expérience de Matly. — Mort du physicien Richmann, à Saint-Petersbourg. — Les cerfs-volants électriques. — Le cerf-volant électrique de Romas, de Nérac. — Le cerf-volant électrique de Franklin, aux États-Unis. — Le premier paratonnerre. — Accueil fait en Europe à l'invention du paratonnerre. — Principes et règles pour la construction d'un paratonnerre. — La tige, le conducteur. — Manière de faire perdre dans le sol l'électricité soustraite par le paratonnerre.....	338
XXII. LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE. — Historique. — Première mention du télégraphe électrique. — Georges Lesage construit le premier télégraphe électrique. — La découverte de la pile de Volta fait reprendre les premiers essais de télégraphe électrique. — Télégraphe de Sæmmering, Schilling et Alexander. — Découverte de l'aimantation temporaire du fer, par Arago. — Principe général sur lequel repose la construction de tous les télégraphes électriques. — Télégraphe électrique de Morse. — Télégraphe anglais, ou télégraphe à aiguilles. — Télégraphe à cadran, employé pour le service des chemins de fer. — Télégraphe imprimant. — Le télégraphe sous-marin. — La télégraphie sous marine transatlantique. — État présent des câbles transatlantiques ; leur nombre et leur trajet.....	357
XXIII. LA GALVANOPLASTIE ET LES DÉPÔTS ÉLECTRO-CHIMIQUES. — <i>La Galvanoplastie.</i> — Opérations pratiques de la galvanoplastie. — Préparation du moule. — Manière d'effectuer le dépôt métallique dans l'intérieur du moule. — Applications de la galvanoplastie à la gravure, à la typographie, à la sculpture, etc. — Son origine. — <i>Les précipitations métalliques par l'électro-chimie.</i> — Dorure et argenture des métaux. — Description de l'opération. — Précipitation de divers métaux les uns sur les autres. — Cuivrage et nickelage..	386
XXIV. L'ART DE L'ÉCLAIRAGE. — Considérations générales sur la flamme. — En quoi consiste le phénomène de la combustion. — Cause de l'é-	

clat des flammes. — Histoire de l'éclairage public et privé. — Étude des différentes matières consacrées aujourd'hui à l'éclairage. — ÉCLAIRAGE PAR LES CORPS GRAS SOLIDES. — La chandelle. — La bougie stéarique. — Procédés pour la préparation de l'acide stéarique et des bougies. — La saponification calcaire et la saponification sulfurique. — Quel est l'inventeur de la bougie stéarique? — ÉCLAIRAGE PAR LES CORPS GRAS LIQUIDES. — L'éclairage à l'huile. — Argand, inventeur des verres de lampe et des mèches circulaires de coton. — Le quinquet. — Découverte des lampes mécaniques. — La lampe à modérateur. — ÉCLAIRAGE AU GAZ. — Philippe Lebon invente l'éclairage au gaz. — Murdoch et Winsor. — Préparation du gaz de l'éclairage. — Cornues. — Barillet. — Jeu d'orgue. — Colonne de coke. — Gazomètre. — Beccs. — Cause de l'éclat du gaz de l'éclairage. — Le gaz portatif. — ÉCLAIRAGE PAR LES HYDROCARBURES LIQUIDES. — L'huile de schiste. — Le pétrole. — L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE. — Le régulateur Foucault. — La bougie Jablochhoff. — La lampe Edison à incandescence de charbon. — État actuel de l'éclairage électrique. — Ses applications... 400

XXV. LES AÉROSTATS. — Les frères Montgolfier inventent les ballons à feu, à Annonay. — Le physicien Charles. — Montgolfier à Paris. — Premier ballon à feu portant des voyageurs. — Première ascension d'un ballon à gaz hydrogène portant des voyageurs. — Blanchard franchit en ballon le Pas-de-Calais. — Mort de Pilâtre de Rozier. — Les aérostats employés pendant les guerres de la République. — Les ballons du siège de Paris en 1870-1871. — Voyages aériens entrepris dans l'intérêt des sciences. — Voyage de Biot et de Gay-Lussac. — Mort des aéronautes Crocé-Spinelli et Sivel, en 1875. — Théorie de l'ascension des aérostats. — Opérations à exécuter pour l'ascension d'un aérostat. — La nacelle, la soupape, le lest. — Le parachute. — Le ballon captif de M. H. Giffard en 1878 et 1879. — Les aérostats sont-ils dirigeables? 442

XXVI. PUIITS ARTÉSIENS. — Historique. — Les puits artésiens en Europe. — Considérations générales sur les puits artésiens. — Théorie géologique. — Le puits de Grenelle. — Le puits de Passy..... 475

XXVII. PONTS SUSPENDUS. — Historique. — Construction des ponts suspendus. — Câbles. — Chaines. — Tablier. — Culées. — Épreuve d'un pont suspendu. — Ponts suspendus les plus remarquables. — Le pont de Fribourg, en Suisse; de Menay, en Angleterre; de Cubzac et de Rouen, en France; du Niagara, en Amérique. — Catastrophe du pont de la Tay, en Écosse, le 28 décembre 1879. — Inconvénients et dangers des ponts suspendus..... 484

XXVIII. LE MÉTIER JACQUARD. — Comment se fabriquaient, à la fin du 18^e siècle, les étoffes façonnées. — Le tireur de lacs. — Enfance et vie de Jacquard. — Vaucanson invente le métier à tisser. — Jacquard perfectionne le métier de Vaucanson par l'invention des cartons. — Description du métier Jacquard. — Importance de la découverte de Jacquard..... 493

XXIX. LE DRAINAGE. — Objet du drainage, ses bons effets. — Résumé historique. — Les fossés souterrains de l'agriculture romaine. —

	Pages.
Olivier de Serres, en 1600, décrit la manière de dessécher les terres humides au moyen de rigoles d'écoulement. — Walter Bligh et Elkington. — Le drainage adopté en Angleterre, en Belgique et en France. — Sols qu'il convient de drainer. — Signes extérieurs du besoin du drainage. — Manière d'exécuter un drainage. — Sondage. — Tracé. — Creusage et profondeur des drains. — Composition des drains. — Tuyaux. — Machines à fabriquer les tuyaux de drainage.....	499
XXX. LA PHOTOGRAPHIE. — Joseph-Nicéphore Niepce crée la photographie, en 1824. — Travaux de Daguerre. — Description du procédé photographique de Daguerre. — Perfectionnement de la découverte de Niepce et Daguerre. — La photographie sur verre. — La photographie sur papier. — Procédé actuellement suivi pour obtenir les photographies. — Le cabinet noir. — Théorie et pratique des opérations.....	508
XXXI. LE STÉRÉOSCOPE. — Cause de la sensation du relief. — Historique des travaux relatifs au stéréoscope. — Le stéréoscope à miroirs. — Le stéréoscope à réfraction, ou stéréoscope de Brewster. — Théorie et description de cet instrument. — Images stéréoscopiques. — Le stéréoscope monté sur une colonne, ou le <i>Voyage dans un fauteuil</i>	520
XXXII. LE TÉLÉPHONE. — Phénomènes acoustiques et découvertes scientifiques qui ont conduit à la découverte du téléphone. — La musique galvanique. — Expérience de Page, en 1837. — Le <i>télégraphe à ficelle</i> . — Travaux de Graham Bell qui ont amené la découverte du téléphone. — Description du téléphone de Bell : le <i>transmetteur</i> et le <i>récepteur</i> . — Le téléphone de Gower n'est qu'une modification du téléphone de Graham Bell. — Le téléphone Edison, principe de sa construction. — Description de ce téléphone. — Quelle théorie faut-il donner de la transmission des sons à distance ? — Le téléphone en Amérique. — Le téléphone à Paris...	529
XXXIII. LE PHONOGRAPHE. — Le <i>phonautographe</i> de Léon Scott prépare la découverte du phonographe. — Edison construit, en 1878, le phonographe. — Explication du mécanisme de cet instrument. — Manière dont les sons s'inscrivent et se conservent sur le cylindre tournant. — Comment les sons inscrits sur la bande d'étain se répètent en faisant tourner à l'envers la manivelle de l'instrument. — Les applications du phonographe. — Remarque sur l'étymologie de ce mot.....	551

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

TABLE DES GRAVURES

Gravures.	Pages
Frontispice : LE TÉLÉPHONE A PARIS.	
1. Statue de Gutenberg élevée sur une des places de Strasbourg.....	5
2. UNE IMPRIMERIE AU QUINZIÈME SIÈCLE.....	7
3. Caractères d'imprimerie.....	11
4. Atelier pour la fonte des caractères.....	12
5. Composteur.....	12
6. Ouvriers compositeurs et casses d'imprimerie.....	13
7. Galée.....	13
8. Presse à bras.....	14
9. Table à encre les rouleaux d'imprimerie.....	15
10. Presse mécanique pour les tirages d'imprimerie.....	16
11. PRESSE TYPOGRAPHIQUE A DOUBLE TIRAGE.....	17
12. Burin du graveur.....	22
13. Manière de graver au burin.....	22
14. Enfumage du vernis pour graver à l'eau-forte.....	23
15. Manière de dessiner sur le vernis.....	24
16. Traitement de la plaque par l'eau-forte.....	24
17. Imprimeur en taille-douce tirant des estampes.....	25
18. Presse lithographique à bras.....	33
19. Statue d'Aloys Senefelder, placée dans les ateliers de M. Lemercier, à Paris.	36
20. Aloys Senefelder découvre par hasard le procédé lithographique.....	37
21. LE PAPIRUS D'ÉGYPTE.....	43
22. <i>Lessiveur rotatif</i> , pour traiter les chiffons par la soude caustique bouillante.....	48
23. <i>Pile défileuse</i> , pour réduire en pâte les chiffons.....	49
24. MACHINE A FABRIQUER LE PAPIER CONTINU.....	51
25. Préparation d'une feuille de papier à la main.....	53
26. Impression à la main des papiers peints.....	56
27. Machine pour imprimer les papiers peints en dix couleurs.....	57
28. Aiguille aimantée flottante.....	61
29. Barreau aimanté.....	62
30. Aiguille aimantée suspendue à un fil.....	63
31. Le cygne aimanté.....	63
32. Appareil pour mesurer l'inclinaison de l'aiguille aimantée.....	66
33. L'aiguille et la chape de la boussole.....	66
34. Boussole terrestre.....	67

Gravures.	Pages.
35. Boussole d'arpenteur.....	68
36. Coupe d'une boussole.....	68
37. Rose des vents.....	69
38. Boussole avec sa suspension.....	69
39. Compas de marine.....	70
40. Principe de la clepsydre.....	72
41. Clepsydre à roue dentée et à cadran.....	73
42. Sablier.....	74
43. Pendule.....	75
44. Galilée.....	76
45. Huygens.....	77
46. Poids moteur et rouages d'une horloge.....	79
47. Échappement à ancre.....	80
48. Ressort de pendule.....	80
49. La fusée et le barillet d'une pendule ou d'une montre.....	81
50. Balancier spiral.....	83
51. Horloge de la cathédrale de Strasbourg.....	84
52. Échantillons de verreries romaines.....	95
53. Verre de Venise.....	96
54. Coupe verticale d'un four à verrerie.....	98
55-56. La canne du verrier.....	99
57. Four de verrerie pour le verre à vitre. Fabrication d'un carreau de vitre. (Soufflage du verre en boule.).....	100
58. Fabrication d'un carreau de vitre. (Production du manchon.).....	101
59. Fabrication d'un carreau de vitre. (Fente du manchon.).....	102
60. Formes successives données au verre pour la fabrication des carreaux de vitre.....	103
61. INTÉRIEUR D'UNE VERRERIE (GOBELETTÉRIE).....	105
62. Étamage des glaces.....	107
63. Fabrication des bouteilles.....	109
64. Moule pour les bouteilles bordelaises.....	110
65. Fabrication d'un tube de verre.....	111
66. Burette de cristal.....	112
67. La taille du cristal.....	113
68. Le tour à potier.....	119
69. Vase grec.....	120
70. Vase grec.....	120
71. Vase grec.....	121
72. Vase grec.....	121
73. Faïence arabe.....	122
74. Faïence arabe.....	122
75-76. Majoliques italiennes du seizième siècle.....	123
77. Coupe de faïence italienne du seizième siècle.....	124
78. Bernard Palissy.....	124
79. Bernard Palissy fait brûler ses meubles, pour entretenir le feu de ses fourneaux.....	125
80. Plat de faïence peinte et décorée de Bernard Palissy.....	126
81. Vase de faïence peinte et décorée de Bernard Palissy.....	126
82. Vase en porcelaine de Chine.....	128
83. Vase en porcelaine de Chine, avec peinture et décors.....	129
84. Vase en porcelaine du Japon, avec peinture et décors.....	130
85. LE LABORATOIRE CÉRAMIQUE DE BÖTTICHER, DANS LE CHATEAU D'ALBERT, EN Saxe.....	131

TABLE DES GRAVURES.

567

Gravures.	Pages.
86. Thière en porcelaine du Japon.....	133
87. Vase en porcelaine tendre de la manufacture de Sèvres, ou <i>vieux Sèvres</i>	134
88. Tournassage d'une pièce.....	136
89. Gabarit pour assiettes.....	136
90. Façonnage d'une assiette sur le tour à potier, avec le <i>gaburil</i>	137
91. Moulage de la porcelaine à la croûte.....	138
92. Coupe d'un four à porcelaine de la manufacture de Sèvres.....	140
93. Gazette.....	141
94. Moufle, ou four pour cuire les porcelaines peintes.....	141
95. Les astres examinés chez les anciens à travers de longs tuyaux.....	142
96. Les enfants de l'opticien Lippershey découvrent, par hasard, la lunette d'approche.....	144
97. Effet de la lentille bi-convexe sur les rayons lumineux.....	148
98.	148
99.	149
100. Théorie géométrique de la lunette astronomique.....	150
101. Lunette astronomique.....	151
102. Théorie géométrique de la lunette terrestre.....	152
103. Lorgnette de spectacle.....	153
104. Jumelle.....	153
105. Réflexion des rayons lumineux sur une surface plane.....	155
106. Réflexion des rayons lumineux sur une surface courbe.....	155
107. Aperçu géométrique de la formation d'une image au foyer d'un miroir courbe.....	156
108. Théorie géométrique du télescope à miroir.....	156
109. Télescope de Gregory.....	157
110. Le grand télescope de William Herschel.....	158
111. LE GRAND TÉLESCOPE DE LORD ROSSE.....	159
112. TÉLESCOPE A MIROIR ARGENTÉ, DE L'OBSERVATOIRE DE MARSEILLE.....	163
113. Observation à la loupe.....	166
114. Loupe montée, ou microscope simple.....	166
115. Loupe composée.....	167
116. Théorie géométrique du microscope composé.....	169
117. Microscope composé.....	169
118. Théorie du microscope composé.....	170
119. Microscope d'études.....	170
120. Observation au microscope.....	171
121. Lait vu au microscope.....	172
122. Farine de blé vue au microscope.....	173
123. Farine de seigle vue au microscope.....	174
124. Fécule de pomme de terre vue au microscope.....	174
125. Fécule d'arrow-root vue au microscope.....	175
126. Brin de soie vu au microscope.....	175
127. Brin de laine vu au microscope.....	176
128. Fil de lin vu au microscope.....	176
129. Brin de chanvre vu au microscope.....	177
130. Cristallin d'œil de mouche.....	177
131. Patte de mouche vue au microscope.....	178
132. Trompe de mouche vue au microscope.....	178
133. Microscope solaire.....	179
134. Microscope solaire.....	180
135. Coupe verticale de la lanterne magique.....	181

Gravures.	Pages.
136. Microscope photo-électrique.....	182
137. Démonstration du fait de la pesanteur de l'air.....	184
138. Égalité de pression de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur d'une cloche de verre.....	186
139. Principe du baromètre.....	186
140. Expérience de Torricelli.....	189
141. Blaise Pascal.....	190
142. PÉNIER MESURANT LA HAUTEUR DE LA COLONNE MERCURIELLE AU BAS DE LA MONTAGNE DU PUY-DE-DÔME.....	191
143. Construction du baromètre à cuvette.....	194
144. Baromètre à cuvette.....	194
145. Principe du baromètre à siphon.....	195
146. Baromètre à siphon.....	196
147. Mécanisme du baromètre à cadran.....	197
148. Baromètre à cadran avec son aiguille.....	197
149. Baromètre de Fortin, et son trépied.....	198
150. Une observation barométrique.....	199
151. Crève-vessie.....	200
152. Baromètre anéroïde.....	201
153. Le premier thermomètre.....	204
154. Tube du thermomètre.....	207
155. Manière d'introduire le mercure dans le tube du thermomètre.....	208
156. Manière de fixer le zéro du thermomètre centigrade.....	209
157. Coupe de l'étuve à vapeur d'eau bouillante qui sert à fixer le 100 ^e de- gré du thermomètre centigrade.....	210
158. Thermomètre à mercure.....	211
159. Thermomètre à air de Leslie.....	212
160. Thermomètre à air de Rumford.....	212
161. Principe général de la machine à vapeur.....	216
162. Coupe de la machine à poudre de Huygens.....	220
163. Coupe du cylindre et du piston d'une machine à vapeur.....	220
164. Denis Papin.....	221
165. Les bateliers du Weser mettent en pièces le bateau de Papin.....	222
166. Coupe de la machine à vapeur de Newcomen.....	223
167. Machine à vapeur de Newcomen employée à Londres, au dix-huitième siècle, pour l'élévation et la distribution de l'eau de la Tamise.....	225
168. Statue de James Watt, à Westminster.....	227
169. Coupe du cylindre et du piston d'une machine à vapeur.....	229
170. Cylindre de la machine à vapeur sans condenseur.....	230
171. Machine sans condenseur, à cylindre horizontal.....	231
172. Machine à vapeur verticale.....	232
173. Machine à vapeur verticale vue de profil.....	232
174. Machine à vapeur à condenseur, ou <i>machine de Watt</i>	233
175. Coupe d'une machine à vapeur à condenseur et à balancier.....	234
176. Coupe verticale d'une chaudière à vapeur.....	235
177. Coupe verticale d'une chaudière.....	235
178. Vue extérieure de la chaudière d'une machine à vapeur.....	236
179. Soupape de sûreté.....	237
180. Niveau d'eau.....	238
181. Coupe de la partie supérieure d'une chaudière à vapeur avec le flotteur d'alarme.....	238
182. Bateau à vapeur de Patrick Miller.....	241
183. Robert Fulton.....	242

TABLE DES GRAVURES.

569

Gravures.	Pages.
184. <i>Le Clermont</i> , premier bateau à vapeur, construit par Fulton, en Amérique, en 1807.....	243
185. <i>La Comète</i> , de Henry Bell, premier bateau à vapeur construit dans la Grande-Bretagne.....	243
186. Hélice d'un bateau à vapeur.....	246
187. Disposition et aménagement de l'hélice sur un bateau à vapeur.....	247
188. Coupe d'une machine à vapeur marine à condenseur et à balancier...	248
189. Machine à vapeur à balancier et à condenseur du navire français à roues, <i>le Sphinx</i>	249
190. Coupe d'une chaudière tubulaire marine.....	251
191. Coupe de l'une des chaudières du navire à vapeur <i>l'Isly</i>	252
192. Vue d'ensemble des chaudières du navire à vapeur <i>le Sphinx</i>	252
193. Un steamer transatlantique.....	253
194. Chariot à vapeur construit par Cugnot en 1770.....	255
195. Première locomotive construite en Angleterre par Trevithick et Vivian.	257
196. Locomotive construite par George Stephenson, en 1812.....	258
197. Coupe d'une chaudière tubulaire.....	259
198. <i>La Fusée</i> , locomotive de George et Robert Stephenson (Coupe de la chaudière).....	260
199. Marc Seguin.....	261
200. George Stephenson.....	261
201. Coupe longitudinale d'une locomotive.....	263
202. LOCOMOTIVE, AVEC SON TENDER.....	265
203. Coupe transversale de la boîte à fumée et du tuyau soufflant.....	267
204. Vue extérieure de la locomotive : mécanisme de la transmission, pompe alimentaire, etc., etc.....	268
205. Le tender; coupe longitudinale; vue intérieure.....	269
206. Locomotive Crampton suivie de son tender (machine à voyageurs et de grande vitesse).....	270
207. Locomotive à marchandises, type d'Engerth, à six roues accouplées...	271
208. Charpente provisoire d'un tunnel.....	273
209. Construction de la voûte en maçonnerie d'un tunnel.....	274
210. Coupe d'un puits d'aérage d'un tunnel.....	274
211. Entrée du tunnel de Blaisy, sur la ligne de Paris à Lyon.....	275
212. Tranchée de la Loupe.....	277
213. Viaduc de Nogent-sur-Marne.....	278
214. Vue générale du viaduc de l'Indre.....	279
215. Viaduc de l'Indre, traversée de la rivière.....	279
216. Coupe transversale de la voie, et ballast.....	280
217. Coupe verticale d'une traverse et d'un rail à double champignon.....	281
218. Coupe verticale d'une traverse munie de ses rails et des coussinets..	281
219. Vue en plan et en perspective d'une portion de voie.....	282
220. Changement, croisement et traversée de voie.....	282
221. Appareil de croisement de voie.....	283
222. Plaque tournante à trois voies.....	283
223. Grue hydraulique.....	284
224. Réservoir.....	285
225. Un train de chemin de fer.....	286
226. Mécanisme d'un frein.....	287
227. Signaux à la main.....	288
228. Disque-signal vu perpendiculairement à la voie.....	289
229. Disque-signal vu de champ.....	289
230. Manœuvre du disque-signal.....	290

Gravures.	Pages.
231. Gare du chemin de fer du Nord, à Paris.....	292
232. Gare du chemin de fer de l'Est, à Paris.....	292
233. Intérieur de la gare du chemin de fer de l'Ouest, à Paris.....	293
234. Intérieur de la gare du chemin de fer de l'Est, à Paris.....	293
235. Locomobile.....	296
236. Monte-charge à vapeur, pour les constructions.....	297
237. Grue à vapeur.....	298
238. Pompe à incendie à vapeur.....	299
239. Rouleau-compresseur du macadam à vapeur.....	300
240. Voiture à vapeur, système Lotz.....	303
241. Nouvelle locomobile routière à vapeur de M. Lotz.....	305
242. Première machine électrique (machine d'Otto de Guericke).....	308
243. Machine électrique d'Hauksbée.....	309
244. Machine électrique de l'abbé Nollet.....	312
245. Machine électrique de Ramsden.....	313
246. Machine électrique moderne.....	313
247. Machine électrique de Nairne.....	315
248. Électrisation de l'eau. — Expérience de Musschenbroek qui amena à construire la <i>bouteille de Leyde</i>	316
249. L'abbé Nollet fait éprouver la commotion électrique à une compagnie de gardes françaises.....	317
250. Bouteille de Leyde en communication avec le conducteur d'une ma- chine électrique.....	318
251. Batterie électrique composée de la réunion de neuf bouteilles de Leyde.....	320
252. Décharge d'une bouteille de Leyde au moyen de l'excitateur.....	321
253. Expérience de la patte de grenouille se contractant par le contact d'un arc composé de deux métaux.....	324
254. Alexandre Volta.....	325
255. Pile à colonne construite par Volta en 1800.....	326
256. Pile à auges.....	329
257. Composition d'un élément de la pile de Bunsen.....	329
258. Élément d'une pile de Bunsen monté.....	330
259. Pile de Bunsen.....	330
260. Batterie de couples d'une pile de Bunsen.....	331
261. Un élément de la pile de Bunsen.....	332
262. Arc voltaïque.....	334
263. Décomposition de l'eau par le courant électrique.....	335
264. Action du courant électrique sur l'aiguille aimantée.....	337
265. Feu Saint-Elme.....	340
266. Benjamin Franklin.....	342
267. Buffon.....	343
268. Expérience de Marly, faite pendant un orage, sur une barre de fer isolée.....	344
269. MORT DU PHYSICIEN RICHMANN, A SAINT-PÉTERSBOURG, LE 6 AOUT 1753....	347
270. Expérience de Romas : cerf-volant lancé dans les nues pendant un orage, le 7 juin 1753.....	349
271. Le cerf-volant électrique de Franklin.....	350
272. Extrémité d'un paratonnerre.....	352
273. Conducteur de paratonnerre dont la tige communique avec l'eau d'un puits.....	353
274. Paratonnerre dont la tige communique avec une eau courante, au moyen d'une tranchée verticale, ou puits artificiel.....	354

TABLE DES GRAVURES.

574

Gravures.	Pages.
275. Paratonnerre foudroyé.....	355
276. TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE DE GEORGES LESAGE, CONSTRUIT EN 1774.....	359
277. Déviation de l'aiguille aimantée par le courant de la pile.....	362
278. Arago.....	363
279. Aimantation artificielle d'une tige de fer doux par le courant électrique.....	363
280. Électro-aimant ou aimant artificiel.....	364
281.	364
282. Télégraphe électrique Morse. — Appareil récepteur des signaux....	366
283. Télégraphe électrique de Morse. — Appareil expéditeur des signaux.	367
284. Réception d'une dépêche dans un bureau de télégraphie électrique contenant des appareils Morse.....	367
285. Comment recevez-vous?.....	368
286. Télégraphe électrique anglais, ou appareil à deux aiguilles.....	369
287. Expéditeur du télégraphe à cadran.....	371
288. Récepteur du télégraphe à cadran.....	371
289. Vue intérieure d'un poste de télégraphie électrique sur un chemin de fer.....	372
290. Poteau télégraphique et cloche isolante de porcelaine.....	373
291-292. Autres formes des cloches de porcelaine servant à isoler le fil télégraphique.....	374
293. Cric pour tendre les fils télégraphiques.....	374
294. Déroulement du câble télégraphique sous-marin de Douvres à Calais arrimé dans la cale du navire.....	375
295. Enroulement du câble télégraphique de Douvres à Calais, autour de la bobine placée sur le pont.....	376
296. Immersion du câble télégraphique de Douvres à Calais.....	377
297. Câble sous-marin de Douvres à Calais.....	378
298. Coupe du câble sous-marin de Douvres à Calais.....	378
299-300-301. Câbles de la ligne de Valentia (Irlande) à Terre-Neuve (Amérique), dessinés de grandeur naturelle en élévation et en coupe.....	381
302. Coupe du câble transatlantique français de Brest à l'île Saint-Pierre (câble de côte), grandeur naturelle.....	382
303. Coupe du câble transatlantique français (câble des profondeurs moyennes).....	382
304. Coupe du câble transatlantique français (câble des eaux profondes)....	382
305. Vase à reproduire en cuivre.....	387
306. Moule en gutta-percha du vase à reproduire en cuivre.....	387
307. Moule en plâtre d'une médaille pour la galvanoplastie.....	388
308. Dépôt de cuivre dans l'opération galvanoplastique.....	389
309. ATELIER DE GALVANOPLASTIE (PRÉPARATION DE LA GUTTA-PERCHA POUR LE MOULAGE DES PIÈCES).....	391
310. Dorure par la pile (appareil simple).....	395
311. Dorure par la pile (appareil composé).....	396
312. Appareil pour l'argenteure électro-chimique.....	397
313. Atelier pour le cuivrage galvanique des candélabres à gaz.....	399
314. Flamme d'une bougie.....	402
315. Moulage des chandelles.....	407
316. Presse hydraulique pour séparer l'acide stéarique de l'acide oléique..	409
317. Pressurage à chaud de l'acide stéarique.....	410
318. Machine pour rogner et polir les bougies.....	411
319. Le quinqet (coupe verticale).....	414
320. Coupe verticale de la lampe à modérateur.....	416

Gravures.	Pages.
321. Tige du modérateur et coupe verticale du canal contenant le modérateur.	416
322. Appareil de Murdoch pour distiller la houille.....	418
323. PRÉPARATION DU GAZ DE L'ÉCLAIRAGE (FOURS POUR LA DÉCOMPOSITION DE LA HOUILLE).....	421
324. Four et cornues à gaz.....	423
325. Coupe verticale d'un four à gaz et coupe du barillet.....	423
326. Tuyaux pour le refroidissement du gaz (jeu d'orgue).....	424
327. Coupe d'une colonne de coke pour l'épuration du gaz.....	425
328. Coupe verticale du dépurateur à chaux.....	425
329. Dépurateur à chaux, vue extérieure.....	426
330. Gazomètre.....	426
331. Coupe verticale d'un gazomètre.....	427
332. TABLEAU DE L'ENSEMBLE DES OPÉRATIONS RELATIVES A LA PRÉPARATION DU GAZ DE L'ÉCLAIRAGE.....	429
333. Voiture pour le transport du gaz.....	432
334. Lampe à schiste.....	434
335. Lampe à pétrole.....	435
336. Arc photo-électrique.....	436
337. Lampe électrique.....	437
338. Bougie Jablochhoff.....	438
339. Globe pour l'éclairage électrique.....	439
340. Éclairage d'une place publique par la lumière électrique.....	440
341. Travaux de nuit exécutés à l'aide de la lumière électrique.....	441
342. Les frères Montgolfier, médaille frappée en 1784.....	443
343. Expérience du 27 août 1783.....	444
344. Expérience faite à Versailles, par Étienne Montgolfier, le 19 septembre 1783.....	445
345. Ballon de Pilâtre de Rozier et du marquis d'Arlandes.....	446
346. ASCENSION AÉROSTATIQUE DE CHARLES ET ROBERT AUX TUILERIES, LE 1 ^{er} DÉ- CEMBRE 1783.....	447
347. Remplissage du ballon à gaz hydrogène du physicien Charles.....	450
348. Pilâtre de Rozier.....	451
349. Aéro-montgolfière de Pilâtre de Rozier.....	452
350. Emploi des aérostats aux armées. Le ballon du capitaine Coutelle....	452
351. BALLON DU SIÈGE DE PARIS PASSANT AU-DESSUS D'UN CAMP PRUSSIEN.....	453
352. Catastrophe du <i>Géant</i> , le 18 octobre 1863.....	460
353. Le catastrophe du <i>Zénith</i> , le 15 avril 1875.....	461
354. Remplissage d'un ballon de gaz hydrogène.....	464
355. Ballon entièrement gonflé.....	465
356. UNE DESCENTE EN PARACHUTE.....	467
357. Parachute.....	469
358. Le ballon captif de M. H. Giffard.....	471
359. Nacelle du ballon captif.....	472
360. Poulie du ballon captif.....	473
361. Théorie des sources artésiennes.....	478
362. Creusement du puits de Grenelle avec un manège de chevaux.....	479
363. La colonne monumentale du puits de Grenelle, à Paris.....	480
364. Trépan employé pour le forage du puits de Passy.....	481
365. Système de forage employé pour le puits artésien de Passy. (Coupe du puits et vue du mécanisme moteur.).....	482
366. Le pont suspendu de Fribourg.....	488
367. LE PONT SUSPENDU DU NIAGARA.....	491
368. Jacquard.....	495

TABLE DES GRAVURES.

573

Gravures.	Pages.
369. Métier Jacquard.....	497
370. Olivier de Serres.....	501
371. Plan du drainage d'un champ.....	505
372. Tranchée de drainage, avec canal en pierres.....	506
373. Deux tuyaux de drainage avec leur manchon.....	507
374. Chambre obscure.....	509
375. Joseph Nicéphore Niepce.....	509
376. Daguerre.....	511
377. Le cabinet noir du photographe.....	516
378. Le portrait photographique.....	518
379. Théorie du stéréoscope.....	522
380. Demi-lentilles du stéréoscope.....	523
381. Stéréoscope de Brewster.....	523
382. LES DEUX IMAGES PHOTOGRAPHIQUES DESTINÉES A PRODUIRE L'EFFET DU RELIEF DANS LE STÉRÉOSCOPE.....	525
383. Appareil pour tirer deux épreuves stéréoscopiques.....	527
384. Stéréoscope à colonne.....	528
385. Téléphone à ficelle.....	531
386. Coupe intérieure du téléphone de Bell.....	535
387. Réception d'un message téléphonique.....	537
388. Téléphone Gower, fermé.....	538
389. Téléphone Gower, ouvert.....	538
390. Téléphone Edison (transmetteur).....	539
391. Téléphone Edison (récepteur).....	540
392. Exploseur de Bréguet.....	542
393. Tableau pour établir la correspondance entre les abonnés du téléphone.....	549
394. Edison.....	552
395. Le phonographe.....	553
396. Coupe du phonographe.....	554
397. Enregistrement des sons dans le phonographe.....	555

FIN DE LA TABLE DES FIGURES.

OUVRAGES DE M. LOUIS FIGUIER

PUBLIÉS PAR LA LIBRAIRIE HACHETTE

OUVRAGES ILLUSTRÉS A L'USAGE DE LA JEUNESSE

Format grand in-8

Prix de chaque volume broché : 10 fr.

La demi-rel. dos en chagrin, plats en toile, tr. dorées, se paye 4 fr. en sus.

I. TABLEAU DE LA NATURE (10 volumes)

I. LA TERRE AVANT LE DÉLUGE

8^e édition (1879). Un volume, contenant 25 vues idéales de paysages de l'ancien monde, 345 autres figures et 8 cartes géologiques coloriées.

II. LA TERRE ET LES MERS

OU DESCRIPTION PHYSIQUE DU GLOBE

6^e édition (1880). Un volume, contenant 230 figures, dessinées par Karl Girardet, Lebreton, etc., et 20 cartes de géographie physique.

III. HISTOIRE DES PLANTES

3^e édition (1880). Un volume, illustré de 451 figures, dessinées par Faguet.

IV. LES ZOOPHYTES ET LES MOLLUSQUES

Un volume, illustré de 386 figures, dessinées d'après les plus beaux échantillons du Muséum d'histoire naturelle.

V. LES INSECTES

3^e édition (1875). Un volume, illustré de 595 figures, dessinées d'après nature par Mesnel, Blanchard et Delahaye, et de 24 grandes compositions.

VI. LES ANIMAUX ARTICULÉS, LES POISSONS ET LES REPTILES

2^e édition (1876). Un volume, accompagné de 222 gravures.

VII. LES OISEAUX

3^e édition (1876). Un volume, illustré de 322 figures, dessinées par A. Mesnel, Bévallet, etc.

VIII. LES MAMMIFÈRES

3^e édition (1879). Un volume, illustré de 335 figures, dessinées pour la plupart d'après l'animal vivant, par Mesnel, Lalaisse, de Neuville, Bayard, etc.

IX. L'HOMME PRIMITIF

4^e édition (1876). Un volume, avec 256 figures, représentant les objets usuels des premiers âges de l'humanité, et 40 *Scènes de la vie de l'homme primitif*, dessinées par E. Bayard.

X. LES RACES HUMAINES

4^e édition (1880). Un volume, illustré de 268 gravures sur bois et de 9 *chromo-lithographies* représentant les principaux types des familles humaines.

II. OUVRAGES DIVERS

LE SAVANT DU FOYER

OU NOTIONS SCIENTIFIQUES SUR LES OBJETS USUELS DE LA VIE.
8^e édition (1880). Un volume, illustré de 290 gravures et d'une carte coloriée.

LES GRANDES INVENTIONS MODERNES

DANS LES SCIENCES, L'INDUSTRIE, LES ARTS.

8^e édition (1880). Un volume, illustré de 398 gravures.

VIES DES SAVANTS ILLUSTRES

DEPUIS L'ANTIQUITÉ JUSQU'AU XIX^e SIÈCLE

Tome I^{er} : Savants de l'Antiquité — Tome II^e : Savants du Moyen Age
Tome III^e : Savants de la Renaissance.
Tome IV^e : Savants du XVII^e siècle — Tome V^e et dernier : Savants du XVIII^e siècle.
5 volumes, accompagnés de 175 portraits et grandes compositions.

CONNAIS-TOI TOI-MÊME

NOTIONS DE PHYSIOLOGIE A L'USAGE DE LA JEUNESSE ET DES GENS DU MONDE

2^e édition (1879). Un volume, contenant 25 grandes gravures, 26 portraits, 115 figures techniques et une chromo-lithographie représentant la circulation du sang.

III. OUVRAGES PUBLIÉS DANS LA BIBLIOTHÈQUE VARIÉE

L'ALCHIMIE ET LES ALCHEMISTES

ESSAI HISTORIQUE ET CRITIQUE SUR LA PHILOSOPHIE HERMÉTIQUE

1 vol. in-8 jésus, 3^e édition. Prix : 3 fr. 50 cent.

HISTOIRE DU MERVEILLEUX DANS LES TEMPS MODERNES

Tome I^{er} : Introduction générale — Les Diabes de Loudun
Les Convulsionnaires jansénistes.

Tome II^e : Les prophètes protestants — La Baguette divinatoire.

Tome III^e : Le Magnétisme animal.

Tome IV^e : Les Prodiges de Cagliostro — La Fille électrique
Les Escargots sympathiques — Les Tables tournantes
Les Esprits frappeurs — Les Médiums — Les Sprites.

4 vol. in-18 jésus, 3^e édition, 1880. Prix : 14 fr.

LE LENDEMAIN DE LA MORT

OU LA VIE FUTURE SELON LA SCIENCE

1 vol. in-18 jésus, accompagné de 10 figures d'astronomie. 7^e édition (1878).
Prix : 3 fr. 50.

L'ANNÉE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE

OU EXPOSÉ ANNUEL DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES, DES INVENTIONS ET DES PRINCIPALES
APPLICATIONS DE LA SCIENCE A L'INDUSTRIE ET AUX ARTS.

Vingt-trois années (1856-1880). 23 vol. in-18 jésus.

Chaque volume se vend, séparément, 3 fr. 50.

TABLES DES VINGT PREMIERS VOLUMES (1856-1875)

De l'Année scientifique et industrielle

1 vol. in-18 jésus. Prix : 3 fr. 50.

LIBRAIRIE HACHETTE ET C^{ie}

BOULEVARD SAINT GERMAIN, N° 79

OUVRAGES ILLUSTRÉS A L'USAGE DE LA JEUNESSE

Format grand in 8

PAR LOUIS FIGUIER

Prix de chaque volume broché : 10 fr.

La demi-rel. dos en chagrin, plats en toile, tr. dorées, se paye 4 fr. en sus.

TABLEAU DE LA NATURE (10 volumes)

I. LA TERRE AVANT LE DELUGE

8^e édition (1879). Un volume, contenant 25 vues idéales de paysages de l'ancien monde, 315 autres figures et 8 cartes géologiques coloriées.

II. LA TERRE ET LES MERS

OU DESCRIPTION PHYSIQUE DU GLOBE

6^e édition (1880). Un volume, contenant 230 figures dessinées par Karl Girardet, Lebreton, etc., et 20 cartes de géographie physique.

III. HISTOIRE DES PLANTES

3^e édition (1880). Un volume, illustré de 451 figures dessinées par Faguet.

IV. LES ZOOPHYTES ET LES MOLLUSQUES

Un volume, illustré de 386 figures dessinées d'après les plus beaux échantillons du Muséum d'histoire naturelle.

V. LES INSECTES

3^e édition (1875). Un volume, illustré de 595 gravures dessinées d'après nature par Mesnel, Blanchard et Delahaye, et de 24 grandes compositions.

VI. LES ANIMAUX ARTICULÉS, LES POISSONS ET LES REPTILES

2^e édition (1876). Un volume, accompagné de 222 gravures.

VII. LES OISEAUX

3^e édition (1876). Un volume, illustré de 322 figures dessinées par A. Meanel, Bévalliet, etc.

VIII. LES MAMMIFÈRES

3^e édition (1879). Un volume, illustré de 335 figures dessinées pour la plupart d'après l'animal vivant, par Mesnel, Lalaisse, de Neuville, Bayard, etc.

IX. L'HOMME PRIMITIF

4^e édition (1876). Un volume, avec 256 figures représentant les objets usuels des premiers âges de l'humanité, et 40 *Scènes de la vie de l'homme primitif*, dessinées par E. Bayard.

X. LES RACES HUMAINES

4^e édition (1880). Un volume, illustré de 268 gravures sur bois et de 8 chromolithographies représentant les principaux types des familles humaines.

OUVRAGES DIVERS

LE SAVANT DU FOYER

OU NOTIONS SCIENTIFIQUES SUR LES OBJETS USUELS DE LA VIE.

8^e édition (1880). Un volume, illustré de 290 gravures et d'une carte coloriée.

LES GRANDES INVENTIONS MODERNES

DANS LES SCIENCES, L'INDUSTRIE, LES ARTS.

8^e édition (1880). Un volume, illustré de 397 gravures.

VIE DES SAVANTS ILLUSTRÉS

DEPUIS L'ANTIQUITÉ JUSQU'AU XIX^e SIÈCLE

Tome I^{er} : Savants de l'Antiquité — Tome II^e : Savants du Moyen Age

Tome III^e : Savants de la Renaissance.

Tome IV^e : Savants du XVII^e siècle — Tome V^e et dernier : Savants du XVIII^e siècle.

5 volumes, accompagnés de 175 portraits et grandes compositions.

CONNAIS-TOI TOI-MÊME

NOTIONS DE PHYSIOLOGIE A L'USAGE DE LA JEUNESSE ET DES GENS DU MONDE

2^e édition (1879). Un volume, contenant 25 grandes gravures, 26 portraits, 115 figures et une chromo-lithographie représentant la circulation du sang.