

ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE
M. LÉON EYROLLES, C. ✱, Ⓛ, Ingénieur-Directeur.

COURS
DE
CONSTRUCTION DES USINES
ET DES
ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

COURS DE M. G. ESPITALIER
Lieutenant-Colonel du Génie
Ancien Professeur du Cours de Construction
à l'École d'Application de Fontainebleau

SIXIÈME ÉDITION

PARIS
ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
Rue Du Sommerard, Rue Thénard et Boulevard Saint-Germain
PROPRIÉTÉ DU DIRECTEUR DE L'ÉCOLE
1924
Tous droits réservés.

COURS ET INSTRUCTIONS remis aux Auditeurs et Correspondants.

Plus de 360 volumes constituant, par spécialité, une bibliothèque extrêmement importante.

I. — Français, Rédaction, Anglais, Allemand, Calligraphie, Sténographie, Comptabilité, Géographie.

Cours de Langue française :

I. Orthographe et Syntaxe; II. Rédaction.

Cours de Langue anglaise.

— — — allemande.

Vocabulaire technique (français-allemand).

Cours de Calligraphie.

Cours de Sténographie appliquée.

Cours de Rédaction des rapports.

Cours de Comptabilité commerciale appliquée aux entreprises.

Cours de Géographie de la France, avec atlas.

Cours de Géographie des colonies franç., avec atlas.

Cours de Géographie professionnelle (P. T. T.), avec atlas.

II. — Mathématiques élémentaires.

Cours d'Arithmétique élémentaire.

Cours d'Arithmétique.

Notions de Géométrie pratique.

Notions de Géométrie élémentaire.

Cours de Géométrie (M. Dautés).

Notions d'Algèbre et de Calcul trigonométrique.

Cours d'Algèbre.

Cours de Trigonométrie.

Notions de Géométrie descriptive.

Cours de Géométrie descriptive.

Cours de Perspective.

Notions de Stéréotomie.

Notions élémentaires de Mécanique.

Cours de Mécanique : 1^{re} Partie. Statique. — 2^e Partie.

Cinématique et dynamique.

III. — Mathématiques supérieures.

Notions sommaires sur les Fonctions et les Dérivées.

Compléments d'Algèbre.

Cours d'Analyse

Cours supérieur d'Algèbre et Analyse :

Livre I. Algèbre (compléments) et calcul différentiel. —

Livre II. Calcul intégral.

Cours de Géométrie analytique.

Cours supérieur de Géométrie analytique :

Livre I. Géométrie plane. — Livre II. Géométrie dans

l'espace.

Cours supérieur de Géométrie descriptive :

Livre I. Géométrie descriptive. — Livre II. Perspective. —

Livre III. Stéréotomie.

Compléments de Mécanique (Statique).

Cours de Mécanique rationnelle.

Cours de Mécanique générale et notions de Mécanique

appliquée :

Livre I. Cinématique. — Livre II. Dynamique et statique.

Cours de Calcul graphique et nomographie.

Introduction mathématique aux sciences techniques de

l'Ingénieur.

IV. — Sciences physiques.

Cours élémentaire de Physique.

Cours supérieur de Physique.

Livre I. Unités. Instruments de mesure. Pesanteur.

Hydrostatique. Chaleur. — Livre II. Chaleur Mouvements vibratoires. Acoustique et Optique. — Livre III.

Magnétisme et Electricité.

Notions de Chimie.

Cours supérieur de Chimie :

Livre I. Métalloïdes. — Livre II. Métaux. — Livre III.

Chimie organique.

Cours d'Analyse chimique :

Livre I. Méthodes générales d'analyse quantitative. —

Livre II. Chimie analytique générale.

Cours d'Analyse et d'Essai des matériaux de construction.

Cours de Chimie analytique appliquée à la métallurgie.

V. — Géologie, Minéralogie.

Notions de Géologie pratique.

Cours de Géologie et de Minéralogie appliquées :

Livre I. Généralités. — Livre II. Les Minéraux et les

Roches. — Livre III. Paléontologie. — Livre IV.

Stratigraphie. — Livre V. Les Gîtes métallifères et minéraux. — Livre VI. Paléogéographie et Tectonique. — Livre VII. Hydrologie.

VI. — Résistance des matériaux et Stabilité des constructions.

Cours élémentaire de Résistance des matériaux et de stabilité des constructions.

La Composition de Mécanique appliquée.

Notions de Résistance des matériaux appliquée aux machines.

Cours de Statique graphique et Résistance des matériaux appliquée aux constructions métalliques.

Cours de Statique graphique.

Cours de Résistance des matériaux appliquée aux machines.

Cours de Résistance des matériaux et de stabilité des constructions.

Livre I. Résistance des matériaux. Stabilité des constructions : systèmes isostatiques. — Livre II. Poutres droites hyperstatiques. — Livre III. Poutres en arc.

Maçonneries et béton armé.

Règlement ministériel du 8 janvier 1915.

Les murs de soutènement.

VII. — Hydraulique et Industries agricoles.

Notions élémentaires d'Hydraulique.

Notions sur les Moteurs hydrauliques.

Cours d'Hydraulique et applications :

1^{re} Partie. Généralités. Vannes, déversoirs, tuyaux,

canaux et aqueducs. Jaugeage des cours d'eau. —

2^e Partie. Distribution d'eau et assainissement. —

3^e Partie. Épuration des eaux et assainissement des

cours d'eau. — 4^e Partie. Moteurs hydrauliques. —

5^e Partie. Aménagement des cours d'eau en vue de la

production de l'énergie électrique. — 6^e Partie. Forma-

tion. Entretien et aménagement des cours d'eau.

Cours de Barrages.

Cours de Drainage et Irrigation.

Instructions pratiques relatives au Drainage, au Redressement des Cours d'eau et à l'Irrigation.

Cours de Meunerie.

VIII. — Dessin graphique et appliqué à diverses spécialités. Croquis.

Cours de Dessin graphique.

Principes élémentaires du Lavis.

Cours de Dessin industriel.

Instruction spéciale pour l'exécution du Dessin graphique.

Instruction pour l'exécution du Dessin d'architecture.

Cours de Dessin des plans.

Instruction sur le Croquis à main levée.

Instruction sur le Croquis à main levée. Organes des machines.

IX. — Mécanique appliquée. Machines.

Éléments de Mécanique générale et de Mécanique appliquée.

Cours de Mécanique appliquée :

Livre I. Notions générales. Moments d'inertie. Centre de

gravité. Résistances passives. — Livre II. Équilibre

des systèmes matériels. Équilibre des machines. —

Livre III. Force centrifuge. Volants et régulateurs.

Cours de Technologie industrielle :

Livre I. Métaux et matières diverses. Organes des

machines. — Livre II. Travail des métaux et des bois.

Outils industriels.

Cours de Thermodynamique.

Notions sur les Machines à vapeur.

Cours de Machines à vapeur :

1^{re} Partie. Générateurs de vapeur. — 2^e Partie. Moteurs à

vapeur. — 3^e Partie. Calculs et étude des princi-

aux organes des machines.

Notions sur les Moteurs à explosion et à combustion.

Cours de Moteurs à gaz :

Livre I. Étude théorique. Étude des gaz. Historique.

Moteurs de moyenne puissance. — Livre II. Moteurs de

grande puissance. Moteurs à combustibles liquides. —

Livre III. Gazogènes. Entretien et Conduite.

Cours d'Automobiles :

Livre I. Moteurs. — Livre II. Voitures automobiles.

Charles HOUVERAGHEL
ARCHITECTE
Rue Gambetta, 71
LA MADELEINE-LEZ-LILLE
TÉLÉPHONE: 22

COURS
DE
CONSTRUCTION DES USINES
ET DES
ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

B

COULOMMIERS
Imprimerie PAUL BRODARD.

N° Pub 350357-160333

ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE
M. LÉON EYROLLES, O. ✱, ① I., Ingénieur-Directeur.

COURS
DE
CONSTRUCTION DES USINES
ET DES
ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

PROFESSEUR : M. G. ESPITALIER
Lieutenant-Colonel du Génie
Ancien Professeur du Cours de Construction
à l'École d'Application de Fontainebleau

SIXIÈME ÉDITION

PARIS
ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
Rue Du Sommerard, Rue Thénard et Boulevard Saint-Germain
PROPRIÉTÉ DU DIRECTEUR DE L'ÉCOLE
1924
Tous droits réservés.

CONSTRUCTION DES USINES

ET DES

ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

TITRE PREMIER

ORGANISATION GÉNÉRALE ET PRÉPARATION D'UN AVANT-PROJET

CHAPITRE I

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

§ 1. OBJET DE CET OUVRAGE. — Définition du bâtiment industriel. — Les différents genres.

§ 2. DU PROGRAMME D'UN PROJET. — Division de cette étude. — Programme général et programme particulier.

§ 3. L'ÉCONOMIE, CONDITION PRIMORDIALE. — Les frais de premier établissement. — Il faut en prévoir l'intérêt et l'amortissement.

§ 4. DE LA SITUATION GÉOGRAPHIQUE D'UNE USINE. — a) Conditions d'une bonne situation géographique à proximité des matières premières. — b) Réalisation facile de la force motrice, diverses sources d'énergie. — c) Débouchés.

§ 5. LES FACILITÉS DE TRANSPORT. — Deux modes principaux de transport. — Comparaison des tarifs.

§ 6. CONDITIONS ESSENTIELLES D'AMÉNAGEMENT D'UNE USINE. — Choix de l'emplacement. — Économie de construction. — Rapport de la distribution générale et de l'outillage.

§ 1. — OBJET DU COURS

1. Ce qu'il faut entendre par « bâtiments industriels ». — Ce cours a pour objet l'étude des établissements industriels au point de vue de l'organisation, aussi bien que de la construction.

Par « établissements industriels », il ne faut pas entendre uniquement les usines, mais tous les bâtiments qui se rattachent à la vie industrielle et même commerciale.

2. Les différents genres d'établissements industriels. — Une *usine* est, à proprement parler, un établissement où l'on élabore des matières premières, dans lequel on les transforme en produits ouvrés : une forge, un moulin, une fabrique de bicyclettes ou de produits chimiques sont des usines.

3. — Par extension, les bâtiments abritant les machines qui *produisent* de l'électricité constituent encore des usines, encore que le résultat ne soit pas un produit ouvré au sens strict du mot; on se propose néanmoins une transformation : c'est une *transformation d'énergie*, et l'installation constitue une usine.

4. — Et, de même pour une blanchisserie, il s'agit encore d'un lieu de *transformation du linge sale en linge propre*; mais l'usage n'est pas d'appeler ainsi un abattoir ou un marché, un haras ou un dépôt de marchandises, et ce sont pourtant des bâtiments industriels. Ce sont donc encore des établissements qui rentrent dans la classification de ceux dont nous avons à nous occuper.

5. — Une construction faite pour l'*installation des bureaux d'une société industrielle* ou d'une *grande administration* rentre encore dans la catégorie que nous envisageons, et l'on voit combien s'élargit le cercle des édifices qu'il nous faudrait comprendre dans notre étude et sous notre dénomination générale.

De même, autour de l'usine, nous apercevons toute une série de bâtiments qui lui servent d'annexes, qu'on pourrait appeler accessoires si, parfois, ils ne se présentaient pas comme d'une absolue nécessité. Ces bâtiments, sans doute, ne servent pas strictement à la fabrication qui fait l'objet de l'usine, mais ils sont, de celle-ci, le prolongement indispensable.

Ce sont, par exemple, les bureaux dont nous venons de parler incidemment, et quelquefois aussi l'habitation du personnel de la direction ou même, dans certaines circonstances particulières, le logement des ouvriers.

6. — Cette liste, encore qu'incomplète, est déjà longue et variée. Nous ne pouvons songer à donner, de tous ces genres d'établissements, ressortissants aux industries les plus diverses, une étude détaillée. Il faudra nous borner à quelques exemples particulièrement caractérisés; mais nous essaierons, tout au moins, de dégager les règles générales qui dominent tout l'ensemble et qui sont applicables à toutes les catégories.

§ 2. — DU PROGRAMME D'UN PROJET

7. **Division de cette étude.** — L'étude que comporte la construction d'un établissement industriel comprend deux parties :

1° *La première se rapporte à l'organisation générale qui convient pour l'établissement qu'on a en vue, par suite même de sa destination;*

2° *La seconde embrasse l'ensemble des procédés de construction qui lui sont applicables et qu'il y a lieu d'envisager pour la réalisation d'un projet et l'exécution des travaux.*

8. — Cette seconde partie, qui constitue la science générale que tout ingénieur doit posséder, réagit évidemment sur l'organisation qu'il convient d'adopter pour les divers éléments de l'usine, et nous avons réuni les connaissances qu'elle suppose sur les procédés de construction, dans un premier volume intitulé : *Notions sur la construction des bâtiments*⁽¹⁾.

En ouvrant le présent volume, le lecteur est donc préparé à aborder immédiatement l'organisation d'ensemble et la distribution des diverses parties d'une usine.

Nous y joindrons toutefois des compléments sur les détails de construction qui, s'appliquant plus spécialement aux établissements industriels, n'ont pas été développés suffisamment dans le tome des *Notions*.

9. **Programme général et programme particulier.** — La rédaction d'un projet, quel que soit l'établissement dont il s'agit, a pour base un programme qui, lui-même, peut être divisé en deux parties :

(1) On consultera également avec fruit le *Cours raisonné du bâtiment* et notamment 10^e partie, *Distribution des édifices*; 11^e partie, *Parti architectonique et façades*; 12^e partie, *Instruction pour la rédaction d'un projet*.

1° La première constitue le *programme général* et comprend les dispositions communes, par suite de la destination, à tous les établissements similaires.

Il suffit, par exemple, de savoir que les bâtiments à construire doivent servir de minoterie ou d'ateliers de construction mécanique, ou d'usine hydraulique, pour que l'architecte ou l'ingénieur, connaissant les opérations qui s'y doivent effectuer, soit fixé, *ipso facto*, sur le nombre et la nature des locaux indispensables à l'industrie que l'on a en vue, et sur le rapport qui doit exister entre ces locaux, pour la commodité du service et les facilités de l'exploitation.

2° La seconde partie du programme contient les conditions spéciales auxquelles le projet est assujéti par suite des circonstances locales ou des vues particulières du promoteur de l'entreprise. Elle constitue le *programme particulier* spécial à cette entreprise

§ 3. — L'ÉCONOMIE, CONDITION PRIMORDIALE

10. Les frais de premier établissement. — Quelle que soit la nature de l'industrie, le but est toujours le même au demeurant : c'est de réaliser des bénéfices et tout doit être combiné, dans l'organisation de l'usine, pour que l'entreprise, en effet, réalise ces bénéfices.

Or, cette entreprise se trouve grevée dès l'abord par les dépenses de *premier établissement*, constituant un capital souvent très important, qui est absorbé par : l'achat du terrain, la construction des bâtiments et ouvrages appropriés, l'outillage enfin.

11. Il faut en prévoir l'intérêt et l'amortissement. — L'intérêt de ce capital et l'amortissement doivent être prélevés annuellement sur les bénéfices bruts et diminuent ainsi d'autant les bénéfices nets.

En ce qui concerne l'amortissement, en particulier, on conçoit aisément la nécessité de l'assurer. Les bâtiments et l'outillage surtout n'ont pas une durée indéfinie. On compte pour les premiers un amortissement en vingt années; mais il serait exagéré d'aller au delà de dix années pour l'outillage qui, non seulement s'use rapidement, mais se démode devant l'incessant progrès de l'industrie.

C'est la *réserve d'amortissement* qui permettra de reconstruire les bâtiments ou de renouveler l'outillage en temps utile.

En résumé, il y a lieu de tenir compte :

1° De l'*intérêt du capital de premier établissement*;

2° De l'*amortissement des immeubles et de l'outillage*.

Il en résulte l'impérieuse nécessité de réduire les dépenses de construction au strict nécessaire, ce qui veut dire que *l'économie est la condition primordiale de toute construction industrielle*.

§ 4. — DE LA SITUATION GÉOGRAPHIQUE D'UNE USINE

12. Conditions d'une bonne situation géographique. — Si la raison déterminante qui conduit à la création d'une usine est cette espérance de bénéfices ultérieurs, l'industriel qui l'entreprend doit se placer dans les conditions les plus favorables à la prospérité et au développement de son entreprise, et cette prospérité est étroitement liée au bon choix de la position géographique où l'usine est établie.

A cet égard, il convient de tenir compte de trois éléments principaux que nous examinerons successivement :

- 1° La proximité des matières premières;
- 2° La facile réalisation de la force motrice;
- 3° L'étendue et le nombre des débouchés.

13. a) Proximité des matières premières. — Les trois conditions que nous venons d'énoncer varient d'importance relative, suivant la nature des diverses industries que l'on considère.

En ce qui concerne la proximité des matières premières, en particulier, il est des entreprises qui n'en comportent pour ainsi dire pas, ou pour lesquelles les matières premières ne constituent pas un poids assez considérable pour qu'il y ait lieu de se préoccuper des frais de transport. Ce sera le cas d'une usine hydro-électrique n'ayant d'autre objet que la production de l'énergie électrique.

D'autres, au contraire, utilisent de grandes quantités de matières pondéreuses, dont le faible prix de revient à l'usine est un des principaux éléments de l'économie de fabrication; on ne saurait grever ce prix de revient de frais de transport excessifs. Ce sera le cas d'une usine métallurgique utilisant à la fois du charbon et du

minéral, ou de la fonte de première fusion. De même, une sucrerie devra se trouver au centre de la région betteravière qui lui assure ses approvisionnements.

Le choix de la région où sera installée l'usine devra donc tenir compte de cette nécessité d'avoir à proximité les matières premières, et, même dans ces limites, la question des frais de transport jouera encore un rôle considérable dans l'économie de ses opérations.

Nous examinerons plus loin ce qui concerne la facilité des transports.

14. *b)* Facile réalisation de la force motrice. — En ce qui concerne la facile réalisation de la force motrice, l'importance de cette condition varie également avec le genre d'industrie. Certaines usines n'exigent qu'une dépense de force motrice insignifiante. La nature et la source de cette force motrice sont alors des questions de second plan qui ne sont pas susceptibles d'influer sur les déterminations à prendre pour l'emplacement et l'organisation.

Toutefois, dans la plupart des cas, nous trouvons là, au contraire, une condition économique de premier ordre, et le choix de la région où l'usine doit être bâtie prend alors une influence très grande sur la prospérité de ses opérations.

15. Les sources d'énergie. — Or, pour la production de la force motrice, on peut recourir à plusieurs sources d'énergie :

1° Dans des cas très particuliers, ce seront des *moteurs à gaz ou à essence* : on aura recours à ces moteurs, généralement, pour réaliser de faibles puissances. Cependant, si l'usine, pour remplir son propre objet, devait comprendre des gazogènes, il serait naturel d'utiliser le gaz produit, dans des moteurs appropriés, même lorsque la puissance nécessaire est assez grande. Certaines usines utilisent ainsi des moteurs à gaz pauvre de 25 à 30 chevaux, quelquefois plus.

2° Les *moteurs à vapeur*, employant de grandes quantités de charbon, exigent que le combustible ne subisse pas des frais de transport trop considérables.

3° Les *moteurs hydrauliques* ne sont économiques que si l'on dispose d'une chute convenable et facile à aménager. Les chutes puis-

santes ne se trouvent que dans des régions bien déterminées, et en particulier dans les pays de montagnes; or, toutes les industries ne s'accroissent pas d'une pareille situation, parce que, d'autre part, les transports y sont difficiles.

4° Enfin, l'énergie électrique, par la souplesse et la commodité de son emploi, est appelée à fournir la force motrice à de nombreuses usines, encore que son prix généralement élevé s'oppose souvent à son application.

Ce coût élevé est compensé, dans certains cas, par les conditions de la fabrication à laquelle on doit pourvoir; s'il s'agit, par exemple, du travail intermittent d'un grand nombre de machines-outils, l'électricité se prête à l'extrême division de la puissance entre plusieurs dynamos motrices dont la dépense est strictement limitée aux heures où elles sont en mouvement.

16. — Dans des ateliers de ce genre, on emploiera utilement l'électricité, s'il existe, à proximité, des usines génératrices en vue de l'éclairage et de la vente de la force motrice, comme il arrive dans les grandes villes où cet emploi de l'électricité procure en outre les avantages du moindre encombrement.

Par suite des facilités de transport de l'énergie électrique à distance, il tend d'ailleurs à se créer des réseaux de distribution couvrant de vastes territoires, chacun de ces réseaux ayant un grand rayon d'action, en dehors même des grandes villes qui possèdent chacune un réseau ou même plusieurs réseaux.

On profite aussi des facilités de transport pour situer en des points différents l'usine génératrice et l'usine d'élaboration, de manière à les placer l'une et l'autre dans la situation géographique qui leur est la plus favorable.

17. — Dans certaines industries enfin (*électrometallurgie, électrochimie*), la même usine est le siège à la fois de la production de l'électricité et de son utilisation immédiate pour la transformation des matières premières.

Quoi qu'il en soit, l'électricité, dans la plupart des cas, ne doit être considérée que comme un *véhicule de l'énergie*. Ce n'est qu'un intermédiaire, et la véritable source de puissance motrice, c'est l'usine hydraulique ou l'usine thermique qui est au point de départ

et produit la force donnant naissance à l'énergie que l'on transforme ainsi pour plus de commodité.

18. — En dehors de l'énergie hydraulique pour la production de l'électricité, on peut trouver quelquefois avantage à employer la vapeur. C'est notamment dans le cas suivant :

Sur le carreau de certaines mines, on a trouvé avantageux de brûler les déchets, les charbons dont la qualité est inférieure, en sorte qu'ils supporterait difficilement des frais de transport.

On les utilise alors en les brûlant sur place, en produisant de l'électricité et en constituant un réseau d'utilisation sur une région dont l'étendue peut être considérable. Ces combustibles pauvres seraient perdus ; on les utilise : tout est bénéfique.

19. c) Débouchés. — Une industrie aura d'autant plus d'éléments de bénéfices et de succès qu'elle étendra sa fabrication et élèvera son chiffre d'affaires. Les frais généraux d'exploitation n'augmentent pas proportionnellement à ce chiffre d'affaires et seront relativement moins considérables ; on est amené, pour ce motif, à se préoccuper dès le début des débouchés que lui procurent directement son site géographique et la facilité des moyens de transport dont elle dispose.

Son rayon d'activité s'agrandit en raison du plus grand nombre de voies ferrées ou fluviales qui divergent autour d'elle, en raison aussi de l'étendue et de la richesse des régions traversées.

Ce rayon d'action, enfin, s'étend pour ainsi dire indéfiniment, si quelques-unes de ces voies aboutissent, sur la mer, à des ports importants :

Encore ne faut-il pas que les distances soient trop grandes, qui séparent l'usine du centre d'approvisionnement des matières premières. Il y a donc une juste balance à tenir entre ces diverses conditions.

20. — C'est certainement à leur situation géographique que les usines du Creusot, en particulier, doivent leur extraordinaire prospérité. Assises entre la Loire et la Saône, dans une région où se trouvent en abondance le minerai et le charbon, ces usines disposent de grandes lignes ferrées et de canaux qui leur ouvrent des débouchés directs dans les deux bassins du Rhône et de la Loire jusqu'à la Méditerranée d'une part et jusqu'à l'Atlantique de l'autre.

Et cependant, malgré ces conditions favorables, il a paru nécessaire d'établir à Chalon-sur-Saône des ateliers de construction pour la grande tôlerie, afin de réduire encore les frais de transport des matières premières, et la même nécessité s'est imposée à d'autres grands établissements métallurgiques, tels que Saint-Chamond, qui a dû installer une importante succursale au Boucau, directement au bord de la mer, pour les plaques de blindage dont le transport est difficile et qui se trouvent ainsi plus près de leurs débouchés.

21. — La question des débouchés est extrêmement importante lorsqu'on veut prévoir l'avenir d'une industrie, et l'on peut à cet égard étudier utilement les grandes usines existantes pour les comparer entre elles.

C'est ainsi qu'il est facile d'apercevoir les causes de la stagnation relative où se trouvent les *usines du groupe de la Loire* (on nomme ainsi l'ensemble des établissements métallurgiques considérables qui sont situés à Saint-Étienne et à Rive-de-Gier).

Si le bassin houiller y est important, les autres matières premières y sont néanmoins coûteuses; les débouchés surtout y sont insuffisants en général, ce qui a pu faire dire à des juges compétents que ces usines ne se maintiennent qu'à la faveur de l'excellence de leur fabrication et à la *spécialisation* de leurs produits (les aciers à haute résistance, par exemple); ce sont là les raisons qui ont permis de maintenir les produits à des prix élevés.

22. — Le *bassin allemand de la Ruhr* par sa distance même aux ports d'embarquement et son trop grand rapprochement de la barrière douanière que lui oppose la frontière française, ne possède pas non plus un rayon d'activité en rapport avec ses facultés de production. Le charbon s'y trouve en abondance, condition éminemment favorable puisqu'elle permet d'obtenir à bon marché, à la fois le traitement du minerai et l'obtention de la force motrice. A la faveur de ce régime économique exceptionnel, les usines s'y sont développées avec une telle rapidité, que le gouvernement allemand s'est vu obligé de faciliter l'écoulement d'une production aussi intensive par le moyen des primes à l'exportation.

23. — De même l'*usine métallurgique de Terni*, en Italie, ne répond bien qu'à l'une des trois conditions essentielles que nous

avons posées au début. Sa situation a été déterminée uniquement parce que les chutes du Vélino et de la Néra permettraient de disposer de 200 000 chevaux de force hydraulique, dont une bien minime partie, d'ailleurs, est mise en valeur, mais elle n'est desservie que par la seule voie ferrée de Rome à Ancône ; son éloignement des lieux de production des matières premières⁽¹⁾ et l'absence de débouchés directs sur l'Adriatique aussi bien que sur la Méditerranée, la mettent dans une situation économique des plus défavorables.

S'il s'était agi d'un établissement dépendant d'une société purement industrielle, le choix de son emplacement eût donc été nettement irrationnel ; mais, en l'espèce, il convient de tenir compte de certaines nécessités de politique économique et de défense nationale, le principal objet de l'usine de Terni étant l'armement militaire et naval, pour lequel le gouvernement italien voulait avant tout se passer de recourir à l'industrie étrangère, ne craignant pas de remédier par son appui financier aux conditions mauvaises de l'entreprise.

24. — Dans ce qui précède, nous avons pris pour exemple des établissements métallurgiques de très grandes proportions, parce qu'on y saisit mieux l'importance des trois conditions énoncées, qui dominent le choix de l'emplacement géographique. Mais ces mêmes conditions n'ont pas une influence moins grande quand, il s'agit d'un établissement industriel de quelque nature qu'il soit, dans la mesure bien entendu, où chacune de ces conditions intervient, suivant que la fabrication comporte beaucoup ou peu de matières premières, nécessite beaucoup ou peu de force motrice.

Et si l'on veut bien chercher dans ces considérations un critérium à peu près assuré, on s'expliquera aisément pourquoi certaines industries spéciales se sont localisées dans certaines régions et pourquoi d'autres contrées se trouvent dépourvues de toute industrie, parce qu'elle ne s'y prêtent pas.

25. Des affinités régionales industrielles. — Il y aurait fort à dire d'ailleurs sur l'inaptitude de certaines régions au point de vue industriel.

(1) L'usine de Terni utilise des lignites provenant de mines assez voisines, il est vrai, et elle est tributaire des minerais de fer de l'île d'Elbe et de la Lombardie, où elle possède, en outre, des hauts fourneaux.

Comment pourrait-on justifier par exemple que Troyes soit le pays d'élection pour le tricot et la bonneterie? Il est bien certain qu'ici aucune question de matière première n'intervient et que l'on pourrait implanter la même industrie à peu près n'importe où.

Ce n'est pas du tout la même chose quand la nature du terrain intervient. Vous ne ferez pas une race de chevaux ou de bœufs dans une contrée dépourvue de riches pâturages, et vous ne produirez pas de fer ou de manganèse, si le sous-sol ne recèle pas ces métaux.

Ce qu'il faudrait conclure de cette discussion, c'est que la situation géographique d'une industrie intervient de deux façons :

1° Directement, si l'on peut dire, parce que le site fournit les matières premières essentielles à l'industrie envisagée :

2° Indirectement, parce que, n'ayant pas besoin des produits du pays, l'industrie qui s'y implante y trouve la main-d'œuvre facile, adroite, et d'autre part des facilités de débouchés.

On s'est souvent demandé pourquoi la Touraine, par exemple, n'est pas un centre industriel. A cette question on se contente le plus souvent de répondre que le milieu ne s'y prête pas, ce qui est un non-sens. Que l'on dise que jusqu'à présent l'activité de la population s'est développée dans le sens agricole et que cela lui a suffi ; qu'en exploitant les richesses du sol au point de vue agronomique, ou même au point de vue de l'élevage parce que la population y a trouvé une vie facile et heureuse, et que le sol y est particulièrement fertile : voilà une raison suffisante, mais qu'il ne soit pas possible d'y développer d'autres sources d'activité industrielle, voilà qui n'est plus du domaine rationnel.

Une région n'est exclusivement agricole que parce que son sol est tellement riche en produits agricoles que la population n'y a été sollicitée que par l'exploitation agricole, mais rien n'aurait empêché d'y implanter une industrie spéciale toute différente, en dehors même de celle qui aurait pu y prendre naissance par suite même de la nature particulière, par exemple, de son sous-sol. On ne peut pas créer une industrie minière, si le sous-sol n'y contient aucun minerai exploitable ; mais des tissages peuvent s'installer à peu près n'importe où.

La division du territoire en régions agricoles et en régions industrielles ne dépend donc que des facilités plus ou moins grandes

que la population y rencontre pour développer son activité dans un sens ou dans un autre.

§ 5. — LES FACILITÉS DE TRANSPORT

26. — Une usine a généralement d'importants transports à faire, qu'il s'agisse d'amener les matières premières à pied d'œuvre, ou d'envoyer des produits ouvrés jusqu'aux lieux de vente et de consommation. Il importe donc qu'à ces deux points de vue, la situation géographique offre toutes les facilités désirables.

27. Des deux modes principaux de transport. — Les communications utilisent deux modes de transport, suivant que l'on emprunte les *voies ferrées* ou les *voies d'eau*.

Les premières conviennent surtout aux transports rapides, et, dans toute entreprise, il faut pouvoir en disposer aisément; mais les tarifs de transport par chemin de fer sont relativement élevés. Si donc les matières véhiculées sont particulièrement lourdes, et si leur bas prix de vente ne supporte pas l'aggravation de frais accessoires considérables, on sait que les rivières et canaux, s'ils ne permettent pas un transport accéléré, ont du moins le précieux avantage des prix de fret avantageux.

En résumé, on peut caractériser ces deux moyens de transport ainsi :

voies ferrées = rapidité, prix relativement élevé;
voies d'eau = faible vitesse, faible prix.

28. — Un régime qui comprendrait, dans une région déterminée, deux réseaux complets et bien aménagés de chemins de fer et de canaux ou voies fluviales, placerait cette région dans des conditions économiques exceptionnelles.

Il faut y ajouter toutefois cette autre condition que les deux réseaux, pour produire tout leur effet utile, ne doivent pas être des organisations absolument distinctes l'une de l'autre, qui s'ignorent et demeurent séparées par une infranchissable barrière.

Il importe, au contraire, qu'elles soient soudées, solidaires et qu'elles se complètent en quelque sorte.

C'est ce que l'on a compris dans certains pays voisins. C'est ce

qu'il est si difficile de faire admettre en France, où les Compagnies de chemins de fer ont longtemps considéré et considèrent encore les voies d'eau comme un ennemi qu'il faut étouffer et réduire.

Voilà une erreur économique contre laquelle on ne saurait trop réagir et les tendances actuelles semblent être orientées dans cette voie.

29. — Les deux modes de transport, loin d'être antagonistes, doivent se prêter un mutuel appui. Ils ont pour les alimenter des éléments différents, et, d'ailleurs, c'est un fait reconnu que le développement des moyens de transport n'a jamais nui à ceux qui existaient déjà; la matière transportable augmente de jour en jour au point que les Compagnies de chemins de fer ont actuellement atteint leur limite de capacité et doivent envisager à l'heure présente une réorganisation qui leur permette de faire face aux besoins croissants de l'industrie.

30. Comparaison des tarifs. — L'élément de comparaison des voies ferrées et des voies d'eau, ce sont les tarifs de transport.

Or, le prix de la tonne kilométrique ⁽¹⁾ qui est de 0,034 fr. et 0,040 fr. sur les réseaux français, atteint 0,0487 fr. à 0,0722 fr. sur le P.-L.-M., de Saint-Étienne sur Roanne, Lyon, Givors, et l'on peut bien attribuer cette aggravation des tarifs, en majeure partie, à l'absence de concurrence.

Au contraire, entre le Pas-de-Calais et le bassin minier de Meurthe-et-Moselle, les chemins de fer ont abaissé leurs tarifs à 0,0207, fr. uniquement parce que les voies d'eau sont susceptibles de prendre la partie pondéreuse du trafic à des prix aussi bas. Un pareil tarif n'est pas rémunérateur pour une ligne de fer; il arrive même que certains tarifs spéciaux donnent une perte qui n'est compensée que par les tarifs des autres articles: ceux-ci payent pour les matières dégrevées, et ce sont évidemment des pratiques économiques déplorables.

Le bassin minier relativement récent de la région de Briey offre à cet égard un exemple particulièrement topique:

On sait que ce bassin a trouvé son principal débouché en Allemagne, vers les usines métallurgiques de Westphalie. Il y aurait le

(1) Les chiffres indiqués se rapportent aux tarifs d'avant-guerre.

plus grand intérêt à pouvoir transporter la houille et le minéral vers les usines du Nord et jusqu'au port de Dunkerque, d'où ils seraient dirigés vers l'Angleterre, tandis qu'on ramènerait les charbons du Nord et de Belgique; mais ce n'est possible que si le prix de transport est très minime.

L'aménagement du canal du Nord-Est permettrait d'abaisser le prix de la tonne kilométrique au-dessous de 0,01 fr. et les voies ferrées n'y pourraient parvenir qu'en travaillant à perte. Une lutte entre les deux moyens de transport ne peut par conséquent qu'être préjudiciable aux intérêts généraux de l'industrie.

Il est donc tout à fait souhaitable que cette lutte cesse, et que les Compagnies de chemins de fer reviennent à une plus juste compréhension de leurs véritables intérêts, en considérant que les canaux seront pour leurs lignes d'utilité auxiliaires, le jour où, loin de les traiter en ennemi, elles faciliteront le transbordement du wagon sur la péniche et *vice versa*, en juxtaposant pour ainsi dire des gares communes, avec un outillage perfectionné et des tarifs communs et liés.

31. — Il importerait d'ailleurs que le réseau des canaux français fut homogénéisé; que le gabarit fût partout le même, de manière qu'un matériel commun de péniches à grand tonnage (de 550 à 600 tonnes) — le seul réellement économique — pût circuler partout sans rompre charge.

Cette homogénéité, d'ailleurs, ne saurait être complète tant qu'on laissera toute liberté d'exploitation.

La traction, en effet, se fait par les procédés les plus divers et les plus rudimentaires.

Certains bateliers se halent lentement à la cordelle, à bras d'homme ou par traction animale. Il est évident qu'ils retardent les bateaux halés par un tracteur mécanique ou électrique.

Il faut uniformiser toute la traction en créant un monopole qui serait avantageux d'ailleurs aussi bien aux petits bateliers qu'aux grosses sociétés déjà existantes. Nous n'insisterons pas sur ces considérations, nous bornant à poser les termes généraux du problème.

§ 6. — CONDITIONS ESSENTIELLES D'AMÉNAGEMENT D'UNE USINE

32. **Choix de l'emplacement.** — Le choix de l'emplacement est du ressort des promoteurs de l'entreprise. C'est à eux qu'il appartient de tenir compte tout d'abord des considérations qui précèdent pour arrêter la région où se fera l'établissement, c'est-à-dire sa situation géographique. Mais ce choix cependant intéresse aussi l'ingénieur chargé des études qui peut, à cet égard, intervenir par d'utiles conseils.

Le rôle de cet ingénieur est plus direct encore quand la construction étant décidée dans une région déterminée, il s'agit de fixer l'emplacement définitif et d'aménager l'établissement.

Ici, comme toujours, les principes d'économie dominent toute l'organisation; mais, en outre, il ne faut jamais perdre de vue la *destination* à laquelle toutes les dispositions de masse doivent être subordonnées.

33. — Les bâtiments doivent être groupés, les locaux distribués pour l'*utilisation* la plus facile et la plus complète des moyens de fabrication, pour la *commodité* du service, de la surveillance et du contrôle.

34. **Économie de construction.** — Au point de vue de la construction proprement dite, le souci primordial de l'économie conduit à examiner de très près quels sont les matériaux à employer et leur mode d'emploi le plus avantageux.

Évidemment, le système architectonique et la décoration ne viennent ici qu'au second plan. L'un et l'autre doivent résulter d'un emploi judicieux des matériaux plutôt que d'un parti pris à l'avance.

35. — Il pourra se faire néanmoins, dans des cas particuliers il est vrai, que l'ingénieur chargé de construire une usine devra chercher à créer un beau morceau d'architecture, soit par suite des exigences du site, dans une grande ville imposant des servitudes d'aspect, soit tout simplement parce que le fabricant, l'usiner, veut que sa façade lui fasse honneur et constitue une réclame utile.

Il ne faut pas médire de ce genre de publicité. Elle est utile à bien des égards.

36. — En toutes circonstances, les principes généraux restent les mêmes, et l'on doit se rappeler cet aphorisme des maîtres de l'architecture, que le *beau* est inséparable d'une parfaite concordance de la forme avec la fonction. Dans la plupart des cas, pour réaliser cette adaptation nécessaire, la science de l'ingénieur est plus indispensable encore que l'habileté de l'artiste.

37. — On devra s'interdire comme déplacée, sinon absurde, toute tendance vers le monumental, vers un parti décoratif qui ne résulterait pas de l'emploi pur et simple des éléments mêmes de la construction, en un mot vers la dépense inutile.

38. **Rapports de la distribution et de l'outillage.** — En dehors des questions d'ordre général qui viennent d'être examinées, nous avons dit que la répartition des locaux ou ateliers — leur distribution — est intimement liée à leur bonne utilisation en vue de l'exploitation qui constitue le but de l'entreprise.

L'établissement, en particulier, comporte des machines parfois nombreuses, souvent volumineuses et pesantes. Il importe d'en déterminer judicieusement l'emplacement et la répartition pour la facilité et l'économie des opérations industrielles, de même qu'il faut prévoir les moyens d'approche et de mise en place de cet outillage.

39. **Du groupement des machines de même ordre.** — Pour la facilité ou l'économie des opérations, un exemple fera comprendre ce qu'il faut entendre par là. Si une usine comprend l'emploi d'une grande quantité de vapeur, convient-il de disperser sur un grand nombre de points d'emploi les générateurs qui sont destinés à la produire? Évidemment non, et l'on aura certainement un grand intérêt à grouper tous ces générateurs, de manière à réduire les frais de surveillance et la main-d'œuvre de manutention des combustibles destinés à l'alimentation des foyers.

D'autre part, pour ne pas exagérer la longueur des parcours des canalisations de vapeur, il conviendra de placer le bâtiment des

chaudières en un point central par rapport aux différentes machines qu'il s'agit d'alimenter.

40. — En ce qui concerne les facilités d'approche et de mise en place de l'outillage, il faut prévoir les moyens d'introduction des machines dans les ateliers. On ne saurait admettre, par exemple, qu'on soit obligé de démolir provisoirement le jambage d'une porte trop étroite, ce qui arrive parfois parce qu'on n'a pas envisagé, dès la construction, les dimensions des machines qui doivent y trouver place.

41. — De même, on doit prévoir les déplacements nécessaires, les visites et les réparations qui obligeront à soulever et à déplacer, soit certaines pièces lourdes, soit la machine elle-même.

C'est pourquoi, dans beaucoup d'ateliers modernes, en particulier dans les usines métallurgiques qui comportent des engins très lourds et très volumineux, on dispose au moment même de l'organisation de l'atelier, des appareils de levage qui nécessitent des dispositifs spéciaux dans la construction.

Ce sont des grues et surtout des ponts roulants. Ces derniers, placés transversalement à la salle des machines, comportent des chemins de roulement à ménager sur les murs eux-mêmes, le plus souvent, ou à disposer sur des supports particuliers en métal, qui sont intimement liés néanmoins à la structure générale du bâtiment, ce qui fait apparaître, dans la construction des usines, des exigences particulières qui n'existent point dans les simples bâtiments des habitations et qui nous donneront, pour une simple salle de machines, ne présentant par elle-même rien d'anormal par ses dimensions propres, des dispositions spéciales sur lesquelles il conviendra d'insister dans ce qui va suivre.

CHAPITRE II

ÉTUDE D'ENSEMBLE D'UN AVANT-PROJET

§ 1. DE L'EMPLACEMENT. — Surface et configuration. — Commodité d'accès, d'alimentation d'eau, d'évacuation des issues. — Conditions économiques.

§ 2. DE L'ORGANISATION DU PROJET DE MASSES. — Classement méthodique des données du programme. — *Règles essentielles* : agrandissement éventuel, parcours minimum sans rebroussement, facilité de surveillance et de contrôle. — *Répartition de l'outillage*.

§ 3. DISPOSITIONS D'ENSEMBLE (types généraux) : Type rectangulaire, type en éventail, distribution verticale des ateliers.

§ 4. ÉTUDE DÉFINITIVE : Annexes et accessoires. — Études de détails.

§ 5. PRESCRIPTIONS ADMINISTRATIVES. — Hygiène des ouvriers.

§ 1. — DE L'EMPLACEMENT

42. Examen de l'emplacement. — Avant d'aborder l'étude du projet proprement dit, il convient d'arrêter le choix du terrain sur lequel l'usine doit être construite, ou, lorsque l'emplacement est imposé, il importe tout au moins d'examiner si cet emplacement répond aux exigences particulières d'un établissement tel que celui qu'il s'agit de créer.

L'ingénieur ou l'architecte chargé de la construction doit être suffisamment au courant des opérations que comporte l'usinage dans l'industrie qu'il y a lieu de pourvoir, pour déterminer sûrement et avec précision la position relative des divers ateliers, et, dans chaque atelier, des diverses machines ou appareils.

Le promoteur de l'entreprise a dû choisir du reste le type de ces machines avant l'élaboration du projet, de telle sorte qu'on en connaisse l'encombrement et les conditions d'installation.

43. Surface et configuration. — La surface nécessaire résulte des données du programme. Toutefois, le meilleur guide, pour

déterminer si cette superficie est suffisante, se trouve dans la comparaison avec des établissements similaires.

44. — Encore faut-il que la *forme* et la *configuration* du terrain se prêtent à l'organisation méthodique et rationnelle des bâtiments divers, à la coordination des ateliers dont l'ensemble doit constituer un établissement bien compris.

On sait, par exemple, et nous avons dit tout à l'heure que, si l'on doit emprunter la force motrice à la vapeur, il convient de grouper et ranger les générateurs dans une même salle que la configuration du terrain doit permettre d'établir à une suffisante proximité des divers lieux d'emploi de la vapeur.

45. — De même la facile disposition des transmissions prend aussi une grande importance dans les ateliers qui comportent, sur une vaste étendue, un grand nombre de machines-outils; or, cette disposition des transmissions dépend beaucoup de la répartition des ateliers, répartition imposée elle-même par la forme du terrain.

Dans la plupart des cas, les transmissions doivent se développer en ligne droite. Il y a lieu d'examiner s'il convient de disposer un seul arbre le long d'un mur ou dans l'axe de l'atelier, ou de réduire la longueur de celui-ci en installant plusieurs arbres parallèles, toutes choses qui dépendent notamment de l'encombrement des machines-outils qu'il s'agit de commander.

46. **Commodité de l'emplacement choisi.** — Les questions de commodité se rapportent surtout aux facilités de communication ou d'accès, d'alimentation en eau ou d'évacuation des eaux usées, des cendres et autres déchets de fabrication.

La proximité de larges voies d'accès pour les transports sur voies de terre, la possibilité de raccorder l'usine avec une voie ferrée, constituent des avantages essentiels. Mais, pour certaines industries consommant beaucoup d'eau, il est également important de prévoir les moyens d'alimentation, en même temps que le voisinage d'un égout public peut donner des facilités dans la grave question de l'évacuation des eaux usées.

Quant aux déchets de fabrication, on sait combien certaines usines sont embarrassées par leur accumulation. Les mâchefers et scories

forment autour d'elles de véritables collines encombrant les terrains environnants, formant ce qu'on appelle les crassiers; mais cette accumulation ne serait pas possible dans les villes, et l'on doit, en particulier, assurer l'évacuation des cendres le plus économiquement possible. C'est ainsi que l'usine électrique construite, quai de la Râpée, à Paris, pour le Métropolitain, comporte en sous-sol un réseau de galeries aboutissant au quai bas sur la Seine, où les cendres sont directement chargées sur des bateaux.

Cet exemple suffit pour montrer combien l'installation sur les bords d'un cours d'eau navigable donne de facilités très grandes et d'économie d'exploitation.

47. **Salubrité. Orientation.** — Nous ne nous étendrons pas sur les questions de salubrité et d'orientation, encore qu'on ne leur attribue pas toujours l'importance qu'elles comportent.

En particulier, il est tout à fait essentiel d'éviter de construire sur un terrain humide — comme il arriverait pour un sol en cuvette et imperméable — l'humidité, en effet, est très défavorable aux machines et peut nuire également à certains produits fabriqués ou nécessaires à la fabrication.

L'orientation elle-même n'est pas inutile à considérer; il est bon d'orienter en effet les principaux bâtiments tout au moins de manière à ce qu'ils ne soient pas exposés aux vents régnants trop violents et, suivant la région, aux ardeurs du soleil ou au froid du nord.

En général, la question de l'orientation sera surtout liée à celle de l'éclairage qui est un important facteur d'un bon rendement et de la facilité d'exploitation d'un atelier.

48. **Conditions économiques.** — Nous avons dit que l'économie dans les frais de premier établissement est une des conditions les plus impérieuses du succès d'une entreprise et il est bien évident que cette économie doit s'exercer tout d'abord sur l'achat du terrain.

Mais il faut ici porter son attention sur le mauvais calcul que l'on peut faire en payant très bon marché un terrain, si l'on se trouve ensuite dans la nécessité *de faire de grandes dépenses pour créer des voies d'accès, une longue canalisation d'eau, ou un égout.*

En particulier, les voies d'accès, alors même qu'elles ne coûtent

pas trop cher de construction, grèvent l'entreprise d'une lourde charge d'entretien dont il convient de se préoccuper.

Un autre cas peut se présenter. Nous verrons bientôt qu'il faut toujours prévoir l'agrandissement de l'usine; si cet agrandissement ne peut se faire que sur des terrains coûteux à acquérir, l'achat du premier emplacement, fût-il à un prix très bas, peut ne constituer qu'une économie toute momentanée, et qu'on est exposé à payer très cher par la suite.

Il y a lieu de se préoccuper à l'avance du fait qui se produira *fatalement* et dont nous avons eu lieu de ressentir personnellement les effets. Ayant à construire un ouvrage de fortification, il fallut d'abord construire la route d'accès. Or, il existait une carrière sur le plateau. Tant qu'il n'y avait pas de route, cette carrière était à peu près sans valeur. Vint le moment où il devint nécessaire de l'exproprier, et immédiatement on fit valoir qu'elle avait une grande valeur du fait même qu'une route venait de lui ouvrir un accès. Tant il est vrai qu'on peut être victime de sa propre activité; cela prouve tout au moins que, si l'on prévoit un agrandissement relativement prochain, il est bon de s'en préoccuper dès l'abord.

§ 2. — DE L'ORGANISATION DU PROJET DE MASSES

49. — L'emplacement étant fixé, on procédera à l'étude d'ensemble de l'usine, afin d'arrêter le projet de masses, c'est-à-dire la répartition des bâtiments ou des parties qui doivent composer cette usine.

Le bon fonctionnement ultérieur repose tout entier sur les heureuses dispositions qui seront adoptées; ce sont ces dispositions qui permettront de réaliser toute l'économie souhaitable dans les manutentions diverses et qui, par suite, assureront le rendement avantageux de l'entreprise.

Dans cette étude, il conviendra d'examiner successivement et suivant leur importance, les éléments du programme imposé, de manière à satisfaire aux différents besoins.

50. Règles essentielles. — Les quatre règles essentielles qu'il faut avoir constamment sous les yeux dans la préparation d'un projet d'usine sont les suivantes :

1° *Prévoir l'agrandissement éventuel de l'usine tout entière, ou de chacune de ses parties, de chacun de ses ateliers;*

2° *Disposer les éléments ou ateliers de manière que les matières premières, à partir de leur entrée et au fur et à mesure de leur usinage, jusqu'à la sortie, parcourent le minimum de chemin;*

3° *Éviter les rebroussements qui, non seulement occasionnent des pertes de temps, mais surtout peuvent créer des encombrements en certains points. Il en est de même si les différents parcours se croisent et se traversent;*

4° *Tout disposer de manière à faciliter la surveillance et le contrôle.*

51. a) **Prévision de l'agrandissement éventuel.** — Il peut sembler prématuré, avant même que l'établissement soit construit et ait donné sa mesure, de se préoccuper de son développement éventuel.

A quoi aurait servi pourtant de l'avoir organisé en observant toutes les autres règles d'une façon méthodique, si, après avoir calculé strictement pour les besoins de ses débuts, des développements imprévus, ou que l'on aurait dû prévoir, nécessitent par la suite des adjonctions, des agrandissements et des modifications où il sera impossible d'appliquer les mêmes règles?

Pour se rendre compte de l'importance de ces prévisions à longue échéance, il suffit d'examiner ce que sont devenues certaines grandes usines où les remaniements successifs n'ont rien laissé de l'ordonnance systématique du début et où l'incohérence semble régner maintenant au grand détriment de la bonne utilisation et de l'économie de fabrication.

Certes, ce n'est pas un pareil défaut de prévoyance qu'on pourrait reprocher à ceux qui ont présidé aux destinées des magnifiques usines du Creusot. Son développement énorme et les difficultés qui en ont été le résultat sont uniquement l'effet de sa prospérité elle-même; mais enfin il est permis de s'en servir comme d'un exemple montrant bien comment un établissement industriel peut prendre de tels développements qu'il étouffe dans sa ceinture et échappe à toute prévision.

Or, les usines du Creusot, cette gloire de notre industrie nationale, se sont si bien étendues sur le territoire environnant, qu'elles ont fini par se trouver dans la nécessité d'enjamber une voie de chemin de fer en remblai, et que les deux groupes de bâtiments et

d'ateliers ne communiquent que par l'étroit défilé d'un pont, sous lequel se fait le va-et-vient continu de la circulation entre les deux parties de l'usine, sans qu'il soit possible d'apporter un remède efficace à une situation aussi gênante.

52. b) Règles du parcours minimum. — Une usine, quelle que soit sa destination, lorsqu'elle a pour but des transformations de matières premières jusqu'à leur complète élaboration en produits ouvrés, comporte une série plus ou moins complexe d'opérations successives. Chacune de ces opérations nécessite une main-d'œuvre particulière, une machine-outil spéciale le plus souvent, et, s'il arrive parfois que les diverses machines-outils peuvent trouver place les unes à la suite des autres dans le même local, on peut poser en principe que l'outillage de chaque opération constitue *un atelier distinct*; il se trouvera même souvent placé dans un local particulier; et l'on arrive ainsi à la décomposition de l'usine générale en une collection de petites usines spécialisées.

53. — La matière première, après chacun de ces usinages, passe à l'atelier suivant, où doivent affluer également d'autres matériaux différents, s'il y a lieu. De la sorte, on pourrait envisager tout l'ensemble de ces déplacements comme un cheminement, jalonné par des arrêts successifs où s'élaborent les transformations diverses.

Chaque arrêt constitue un atelier où les matériaux auxiliaires arrivent par des trajets extérieurs.

Il est évident que, pour éviter les fausses manœuvres et tout déplacement inutile, il importe que les matériaux principaux, ou en voie de transformation, suivent un chemin continu, d'atelier en atelier, dans l'ordre des opérations, jusqu'au magasin des produits fabriqués et, de là, à la sortie.

54. c) Règle du rebroussement. — C'est à quoi visent la seconde et la troisième des règles énoncées plus haut, cette dernière prescrivant les rebroussements et les croisements de route, sorte de carrefours où la circulation se trouverait entravée.

Il ne faut pas non plus qu'un atelier intermédiaire quelconque, dans l'élaboration industrielle, puisse être arrêté dans sa marche propre, uniquement par un accroissement intempestif dans la circulation générale des matières.

55. *Pente générale.* — Pour compléter ce que nous venons de dire au sujet du parcours des matières mises en œuvre, il est bon d'ajouter qu'autant que possible, *la marche doit se faire en descendant la pente du terrain.* Le travail de la pesanteur vient alors en diminution du travail total que nécessiteraient les transports.

On peut être tenté de n'attribuer qu'une importance bien faible à ce facteur d'économie. Si un homme pousse un petit wagonnet, par exemple, il ne semble pas qu'il doive produire un travail sensiblement moins grand en descendant une pente de 2 cm. par mètre qu'en la remontant; mais, en réalité, il parcourra plus de chemin dans sa journée, parce que la vitesse s'accroît automatiquement par suite de la pesanteur et aussi parce que, exerçant moins d'efforts, l'ouvrier accélère sa marche sans s'en apercevoir : tout cela est inconscient en effet, mais le résultat certain, par l'accumulation de tous ces petits gains, c'est une économie beaucoup plus effective qu'on ne le croirait à première vue.

55^{bis}. *Répartition de l'outillage.* — C'est aussi dans cette période du travail d'avant-projet qu'il convient de prévoir l'installation de tout l'outillage que l'on peut décomposer en : *outillage principal* et en *outillage auxiliaire.*

56. α) *L'outillage principal* comprend les machines-outils coopérant directement à l'usinage des matières premières et à leur transformation en produits ouvrés.

Dans une forge, un marteau-pilon fait partie de l'outillage principal, aussi bien que les métiers dans une filature, mais il y faut comprendre également les moyens de mise en œuvre de ces machines-outils, c'est-à-dire les moteurs et les générateurs d'énergie.

57. β) *L'outillage auxiliaire* sert particulièrement à la manutention mécanique; il comprend des engins dont, à la rigueur, on pourrait se passer, parce qu'ils n'interviennent pas directement dans la fabrication, mais qui n'en sont pas moins indispensables, parce que c'est grâce à eux qu'il est possible de réduire la main-d'œuvre, but suprême de toute fabrication économique. C'est dans cette catégorie qu'il faut classer : les *appareils de levage, grues, ponts roulants, les transporteurs à courroie ou à godets, élévateurs, monte-charges, etc....*

§ 3. — TYPES GÉNÉRAUX SCHÉMATIQUES ET DISPOSITIFS D'ENSEMBLE

58. — La première étude faite sur les indications qui précèdent, conduit à adopter un plan général schématique de répartition des ateliers et à fixer leur place les uns par rapport aux autres.

Les études de détails permettront sans doute d'amender par la suite ce premier dispositif; mais il doit déjà satisfaire aux règles essentielles que nous nous sommes imposées.

On peut s'inspirer, pour cette disposition générale, d'un des trois types généraux suivants, dont les deux premiers s'appliquent à une organisation de plain-pied, tandis que le troisième suppose la superposition des ateliers en plusieurs étages.

a) TYPE SCHÉMATIQUE RECTANGULAIRE

59. — Le type schématique rectangulaire comporte le rangement des ateliers en files parallèles qui se placent aisément sur le terrain, en laissant entre elles des rues également parallèles et continues, où se font les mouvements principaux assurant la progression méthodique des matières d'une extrémité à l'autre du terrain.

Nous en donnons, dans la figure 1, une application théorique à une grande usine métallurgique.

Parallèlement à la voie sur laquelle se fait l'accès principal, on a disposé les *bâtiments d'administration, de direction et de surveillance*.

Les ateliers et les différents éléments de l'usine proprement dite sont, au contraire, disposés en files perpendiculaires à la voie d'accès.

On peut y distinguer :

1° Les *matières premières* (minerai, charbon), dont les dépôts composent la première file en bordure du terrain;

2° Les *hauts fourneaux*, qui constituent le premier stade de la fabrication;

3° Les *ateliers de transformation métallurgique* (aciéries-fonderies) pour le traitement des fontes brutes provenant des hauts fourneaux, et leur transformation en fontes fines, en aciers ou en fers;

4° Les forges et laminoirs destinés à donner à ces métaux les formes habituelles du commerce;

5° Les ateliers de transformation mécanique (ajustage, mon-

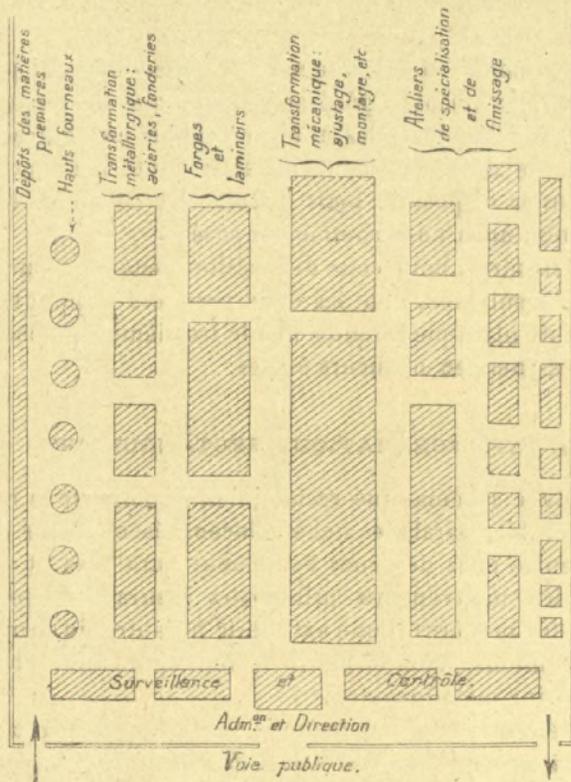


Fig. 1. — Type de distribution rectangulaire.

tage, etc...) pour la mise en œuvre des matériaux ainsi préparés, afin d'en constituer des organes de machines;

6° Les ateliers de spécialisation et de finissage, qui dépendent essentiellement de la spécialisation à laquelle l'usine a été dès l'abord affectée;

7° Enfin les magasins de produits ouverts en stock ou en attente de transport.

: Nous pourrions étudier plus en détail un cas concret, dans le

chapitre suivant, en prenant pour exemple d'application un atelier de construction de locomotives et voitures de chemins de fer.

60. — On satisfera à la *règle de prévision d'accroissement* en réservant du terrain dans le prolongement des ateliers et à l'opposé de la voie publique.

Ce type est évidemment susceptible de variantes, en raison du rapport variable de la longueur et de la largeur, et suivant la disposition des voies d'accès.

b) TYPE EN ÉVENTAIL

61. — Le type en éventail que représente schématiquement la figure 2, se prêterait à l'occupation d'un terrain triangulaire, où l'accès se ferait en pan coupé, à l'un des sommets A.

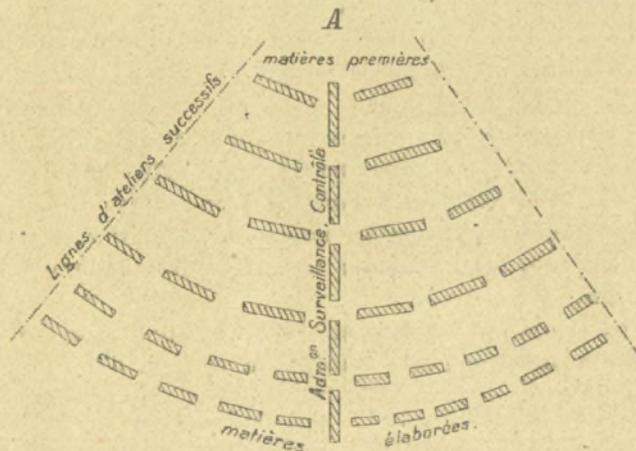


Fig. 2. — Type de distribution en éventail.

Les bâtiments d'administration, de surveillance et de contrôle, partant de l'entrée, dessinent comme l'arête dorsale du dispositif de part et d'autre de laquelle les ateliers se développent sur des arcs concentriques.

Il suffit de disposer du terrain à droite et à gauche, pour pouvoir allonger les ateliers suivant les besoins et agrandir l'usine.

Ce type, toutefois, ne se prête pas à toutes sortes d'industries, les ateliers ayant un développement d'autant plus grand qu'ils sont placés sur un arc plus éloigné du centre de l'éventail.

c) **TYPE DE DISTRIBUTION VERTICALE DES ATELIERS**

62. — On est quelquefois conduit à superposer les ateliers d'une usine, alors que le genre d'industrie qu'on y traite s'accommoderait mieux d'une installation de plain-pied; ce sera dans le cas, par exemple, où l'usine étant établie dans une grande ville, on doit utiliser le plus économiquement possible un terrain dont la valeur d'achat est considérable.

C'est ainsi qu'à Paris, en particulier, sont organisés certains ateliers de garage et de réparation pour voitures. Des élévateurs permettent alors de monter les véhicules et de les engerber aux étages supérieurs. On aurait économisé la force dépensée à ces manutentions si l'on avait pu s'établir au niveau du sol, et il faut faire entrer ces frais en ligne de compte.

63. — C'est là toutefois un cas exceptionnel, et certaines industries, au contraire, comportent une distribution verticale systématique. *Ce sont celles où les matières à traiter sont en grains ou en poudre, et où l'on veut profiter de la nature même de ces matières en utilisant la pesanteur pour les véhiculer à travers les ateliers successifs d'élaboration.*

On en trouvera, au chapitre suivant, une application caractéristique à une minoterie, genre d'usine où ce type d'installation est toujours appliqué.

64. — Nous citerons un autre exemple de distribution verticale dans un genre d'industrie où l'on serait loin de l'attendre, et où cependant les raisons d'économie de terrain, de bonne organisation pour une exploitation industrielle se trouvent réunies pour faire adopter ce système. Ce sont les abattoirs industriels.

On sait qu'il est question depuis longtemps déjà de reconstruire l'abattoir de la Villette, à Paris, sur des bases plus rationnelles et plus hygiéniques. Or, dans le dernier projet soumis au Conseil municipal, on a admis que le futur établissement comporterait des

bâtiments de 4 à 5 étages avec les salles d'abatage au dernier étage sous combles.

Le montage des animaux par monte-charge entraînerait de grandes dépenses de force motrice, mais on peut les éviter si l'on admet que les animaux vivants monteront par leurs propres moyens sur des rampes appropriées.

Après l'abatage, l'habillage, c'est-à-dire la préparation des viandes, l'éviscération, le traitement des peaux, du sang, des viscères utilisables, la transformation des déchets putrescibles en engrais pulvérolents, constituent toute une série d'opérations, pour lesquelles des ateliers sont répartis aux différents étages.

Les viandes et autres matières y peuvent descendre par la seule gravité, supprimant les camionnages et les chemins de fer à rail suspendu. Il en résulte une très grande économie de temps, de main-d'œuvre et de force motrice.

Le système est donc rationnel, économique, et une pareille organisation répond à toutes les conditions d'un établissement réellement industrialisé.

§ 4. — ÉTUDE DÉFINITIVE

65. Unité de conception. — L'examen auquel vient de donner lieu la première étude d'avant-projet aura eu l'avantage d'établir un plan général de distribution qui satisfait méthodiquement aux conditions générales dont nous avons reconnu la nécessité.

Cette étude ne se fait pas, bien entendu, sans de nombreux tâtonnements et croquis, mais déjà, dans son esprit, l'ingénieur possède une conception assez nette, pour rudimentaire qu'elle soit encore, de la structure générale de l'établissement avec ses masses principales et accessoires, et même il a pu se faire une idée d'ensemble des silhouettes de l'usine.

66. — Il faut évidemment s'attendre à ce que cette première ébauche se modifie profondément dans la suite pour s'adapter aux exigences que l'étude ultérieure et plus serrée dans ses détails mettra en évidence; mais dans cette série d'avatars successifs, la conception première subsiste, avec son unité d'ensemble, son organisation logique et combinée d'un seul jet pour ainsi dire.

67. — Cette *unité de vues* est favorable à une bonne utilisation industrielle, et il ne reste plus qu'à prendre chaque partie, à l'examiner au point de vue constructif, à en faire la distribution détaillée, en tenant compte des encombrements et en précisant les espaces nécessaires aux communications et aux dégagements.

On fixera la hauteur des étages, la portée et la résistance des planchers, ce qui conduira à fixer également le nombre et l'emplacement des supports intermédiaires qui pourraient être nécessaires.

On arrêtera le système de fondation, les aménagements des sous-sols, s'il y a lieu, les épaisseurs des murs, la forme et la disposition à donner aux toitures.

68. — Le moment sera venu alors de s'occuper du parti architectural et de la composition des façades.

Enfin, le projet sera complet lorsqu'on aura déterminé par des croquis à grande échelle tous les éléments de la construction (*plans, coupes, élévations*).

Cette étude suppose qu'on s'est fixé le mode général de construction et les matériaux à employer; ce choix est basé, avant tout, sur le caractère plus ou moins provisoire ou définitif de l'établissement.

Si l'économie s'impose, en effet, dans les frais de premier établissement, il va de soi que le dispositif et le choix des matériaux ne sont pas les mêmes pour une construction passagère que pour un bâtiment durable.

69. **Annexes et accessoires.** — Ce n'est qu'après avoir arrêté les dispositions des parties essentielles qui constituent l'usine proprement dite, qu'il conviendra d'aborder l'étude complète des bâtiments, travaux accessoires et annexes que comporte un établissement industriel.

Ces accessoires et annexes, dont on s'est borné à prévoir l'emplacement approximatif dans les projets de masses, comportent notamment :

- Les logements des chefs d'usine, des ouvriers, des concierges;
- Les hangars pour dépôts et magasins;
- Les cheminées d'usine;
- Les installations sanitaires (lavabos, urinoirs, cabinets d'aisance.)

La bonne organisation de ces installations hygiéniques s'impose de plus en plus et elles ont fait d'ailleurs l'objet de prescriptions administratives (décret du 29 novembre 1904).

Ces divers services peuvent parfois s'établir à l'intérieur des bâtiments principaux, en utilisant certains espaces disponibles; mais, dans un établissement important, on les groupera le plus souvent dans des annexes indépendantes, sur des emplacements appropriés.

70. Dossier du projet. — Le dossier du projet comprend enfin :

1° *Un mémoire justificatif* des dispositions adoptées et du mode de construction; on y joindra des notes de calculs pour toutes les parties qui le comportent;

2° *Les dessins complets d'ensemble et de détails;*

3° *Une série de prix;*

4° *Un avant-mètre et un devis estimatif de la dépense.*

§ 5. — PRESCRIPTIONS ADMINISTRATIVES HYGIÈNE DES ATELIERS

71. Prescriptions réglementaires. — En exécution des lois du 12 juin 1893-11 juillet 1903, un décret d'administration publique du 29 novembre 1904 a réglementé certaines prescriptions ayant pour but la sécurité publique dans les usines et l'hygiène des ouvriers dans les ateliers.

72. a) Prescriptions générales. — 1° Dans les locaux où l'on travaille des matières organiques altérables, le sol sera rendu imperméable et toujours bien nivelé; les murs seront recouverts d'un enduit permettant un lavage efficace.

2° Les eaux résiduaires ou de lavage ne se déverseront dans un égout public qu'à la condition que toute communication entre l'égout et l'établissement soit munie d'un interrupteur hydraulique.

3° Les cabinets d'aisance ne devront pas communiquer directement avec les locaux fermés où le personnel est appelé à séjourner. Le sol et les parois seront en matériaux imperméables; les peintures seront d'un ton clair. Il y aura au moins 1 cabinet pour 50 personnes et des urinoirs en nombre suffisant.

4° *Aucun puits absorbant* (ou disposition analogue) ne pourra être établi qu'avec l'autorisation de l'administration supérieure et dans les conditions qu'elle aura prescrites.

5° *L'aération et la ventilation* seront assurées dans les locaux fermés affectés au travail, qui ne devront jamais être encombrés. Le cube d'air par personne employée ne pourra pas être inférieur à 7 m³, et à 10 m³ dans les laboratoires, cuisines, chais. De même dans les magasins, boutiques et bureaux ouverts au public.

Les locaux fermés affectés au travail, largement aérés et chauffés en hiver, seront munis de fenêtres ou autres ouvertures à châssis mobiles donnant directement sur le dehors. Aération suffisante pour empêcher une élévation de température exagérée. Les passages et escaliers seront convenablement éclairés.

6° Les *moteurs* (à vapeur, à gaz, électriques), les *roues hydrauliques*, les *turbines* ne doivent être accessibles qu'aux ouvriers chargés de leur surveillance. Ils seront isolés par des cloisons ou barrières de protection.

7° Les *monte-charges, ascenseurs, élévateurs* seront guidés et disposés de manière que la voie de la cage, du monte-charges et des contrepoids soit fermée, que la fermeture du puits à l'entrée des divers étages ou galeries s'effectue automatiquement.

73. b) Précautions contre l'incendie (décret du 15 juin 1911) :

1° Les *portes de sortie* des ateliers, bureaux et magasins de dépôt, où séjournent plus de 10 ouvriers et, quelle que soit l'importance du personnel, les portes des ateliers, magasins, bureaux où sont manipulées des matières inflammables, doivent s'ouvrir de dedans en dehors, soit qu'elles assurent la sortie sur les cours, vestibules, couloirs, escaliers ou autres dégagements intérieurs, soit qu'elles donnent accès à l'extérieur. Dans ce dernier cas, la mesure n'est obligatoire que lorsqu'elle est jugée indispensable à la sécurité. En cas de différend entre les chefs d'établissement et l'inspection du travail, il est statué par décision du ministre du Travail.

2° Sur un couloir, les portes une fois développées ne doivent pas faire de saillie dangereuse.

Elles doivent être en nombre suffisant pour l'évacuation rapide et n'être jamais encombrées par des marchandises, matières en dépôt, objets quelconques.

Dans les établissements importants, des inscriptions bien visibles doivent indiquer le chemin vers la sortie la plus rapprochée. En outre, s'ils sont éclairés à la lumière électrique, ils doivent comporter, en même temps, un éclairage de secours.

3° Dans les ateliers, magasins ou bureaux où sont manipulées des matières inflammables, aucun poste habituel de travail ne doit se trouver à plus de 10 m. d'une sortie. Si les fenêtres, dans ces locaux, sont munies de grilles ou grillages, ces grilles ou grillages doivent pouvoir s'ouvrir très facilement de l'intérieur.

4° Les portes de sortie qui ne servent pas habituellement de passages doivent, pendant les périodes de travail, s'ouvrir très facilement de l'intérieur et être signalées par la mention : *sortie de secours*, inscrite en caractères bien lisibles.

5° Les *escaliers* desservant les locaux de travail sont construits, soit en matériaux incombustibles, soit en bois hourdé de plâtre sur 3 cm. au moins d'épaisseur, ou protégés par un revêtement d'une efficacité équivalente.

Le nombre de ces escaliers est calculé de manière que l'évacuation de tous les étages d'un corps de bâtiment contenant des ateliers puisse se faire immédiatement.

Tout escalier pouvant servir à assurer la sortie simultanée de 20 personnes au plus, doit avoir une largeur minimum de 1 m. ; cette largeur doit s'accroître de 15 cm. pour chaque nouveau groupe de personnel employé, variant d'une à cinquante unités.

Même règle pour la largeur des passages accédant aux escaliers, qui ne doivent pas être encombrés.

74. c) **Chauffage et éclairage.** — Il est interdit d'employer, pour l'éclairage et le chauffage, aucun liquide émettant au-dessous de 35° des vapeurs inflammables, à moins que l'appareil contenant le liquide ne soit solidement fixé pendant le travail. La partie contenant le liquide doit être étanche, de manière à éviter tout suintement.

Aux heures de présence du personnel, le remplissage des appareils d'éclairage, ainsi que des appareils de chauffage, dans les passages ou escaliers servant à la circulation, ne peut se faire qu'à la lumière du jour et à la condition qu'aucun foyer ne soit allumé.

Les tuyaux de conduite amenant le gaz aux appareils d'éclairage

et de chauffage doivent être, soit en métal, soit enveloppés de métal, soit protégés efficacement par une matière incombustible.

Les appareils d'éclairage portatifs doivent avoir un support stable et solide.

Des *consignes pour le cas d'incendie* doivent être affichées.

75. *d) Hygiène des ouvriers.* — Les patrons mettront à la disposition de leur personnel les moyens d'assurer la propreté individuelle, *vestiaires* et *lavabos*, ainsi que de l'eau de bonne qualité pour la boisson.

Nous aurons l'occasion de revenir sur les détails d'organisation.

CHAPITRE III

EXEMPLES D'AVANT-PROJETS SCHÉMATIQUES

- § 1. Ateliers pour la construction de locomotives et voitures de chemin de fer. —
§ 2. Ateliers de constructions mécaniques. — § 3. Distribution verticale d'une minoterie.
— § 4. Usine hydro-électrique.

76. — Afin de mieux faire saisir et de mieux mettre en valeur la portée et l'utilité des considérations générales qui précèdent, nous allons les appliquer immédiatement à quelques exemples d'avant-projets schématiques.

§ 1. — ATELIERS DE CHEMIN DE FER

77. — Nous commencerons par un exemple de répartition des ateliers sur le type rectangulaire et nous l'emprunterons à une installation d'ateliers de chemin de fer en Amérique.

On sait en effet que, dans ce pays, on élabore les installations d'usines dans l'esprit le plus large, mais en réalité le plus économique au point de vue du résultat final.

On n'hésite pas à supprimer radicalement tout agencement démodé et reconnu peu productif pour adopter des combinaisons nouvelles aussitôt qu'elles paraissent susceptibles de diminuer la main-d'œuvre et de réduire les manutentions.

78. — L'organisation générale pourrait en quelque sorte se diviser en quatre zones :

- 1° Arrivée et parc des matières premières;
- 2° Ateliers d'élaboration (ou de préparation);
- 3° Atelier d'utilisation;
- 4° Sorties.

Les matières premières mises en œuvre sont :

a) Les fers et aciers (parc d'approvisionnement près de l'accès).

Les fers et aciers se rendent ensuite, soit directement aux ateliers

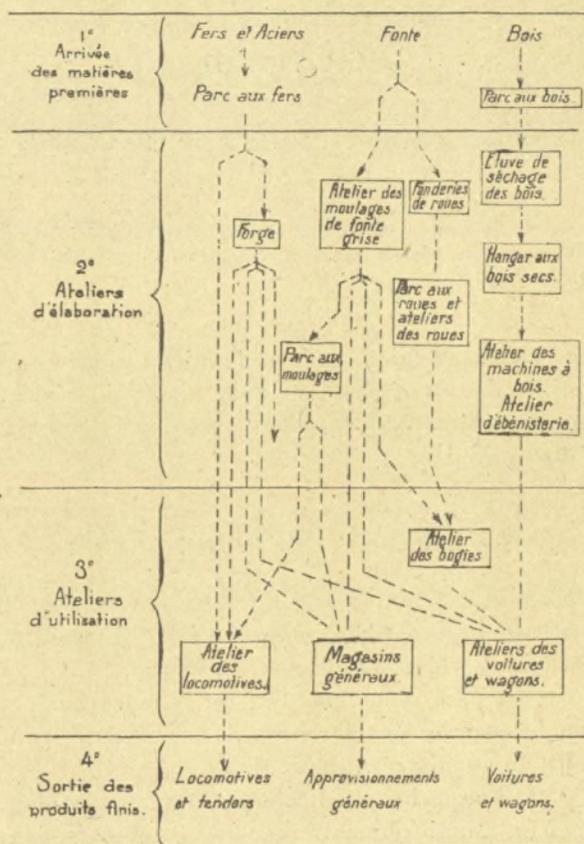


Fig. 3. — Schéma d'un atelier central.

d'utilisation, lorsque leur forme marchande ne nécessite pas d'élaboration, soit à la forge, et de là aux divers ateliers.

b) La fonte peut bifurquer soit sur l'atelier des moulages en fonte grise et de là au parc aux moulages, soit sur la fonderie de roues et de là au parc aux roues et à l'atelier de préparation des roues. Des

deux parcs, les pièces élaborées peuvent être dirigées sur l'un des quatre ateliers d'utilisation.

c) Les *bois* passent par l'étuve, le hangar aux bois secs, l'atelier des machines pour travail du bois; il se rendent enfin à l'atelier de montage des voitures et wagons.

79. — Tous les ateliers d'utilisation (locomotives, magasins généraux, voitures et wagons, dont l'atelier des bogies n'est pour ainsi dire qu'une annexe) sont disposés le long d'une voie de communication pour la sortie.

On remarquera la circulation régulière et méthodique de tous les matériaux depuis l'entrée jusqu'à la sortie des produits finis.

Enfin, on aura intérêt, si c'est possible, à disposer l'usine de manière à ce que le parcours des matières suive la pente du terrain, comme nous l'avons indiqué plus haut.

80. — Parfois, cependant, la circulation des bois se fait à l'inverse de la circulation des fers, fontes et aciers, et c'est au centre que se trouvent les ateliers d'où sortent les produits finis (fig. 4).

Mais le principe essentiel de l'installation est toujours le même et pour le réaliser sûrement on recourt largement aux ponts roulants et aux voies Decauville.

§ 2. — ATELIERS DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

81. — Soit maintenant un atelier de construction de machines diverses, comportant un bâtiment unique, à installer dans un terrain aboutissant d'un côté à une grande voie publique, de l'autre à un chemin de fer.

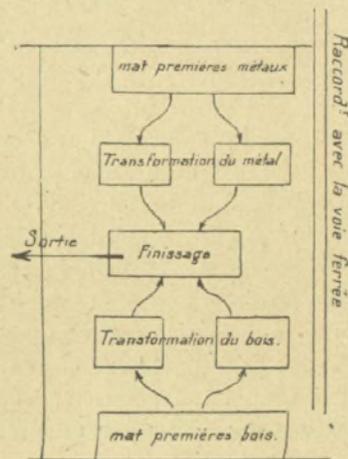


Fig. 4.

Les données générales imposées sont :

- 1° L'établissement de grandes halles pour installer les machines-outils qui interviennent pour les travaux principaux;
- 2° Une voie charretière sur toute la longueur du terrain avec pont à bascule;
- 3° Des bureaux pour la direction et les dessinateurs;
- 4° Un logement pour le contremaître;
- 5° Un atelier et magasin de modèles;
- 6° Un moteur à vapeur avec cheminée d'usine;
- 7° Des canalisations pour l'eau, le gaz, les eaux usées;
- 8° Installation de lavabos, urinoirs, cabinets, puits.

Le plan ci-contre indique de quelle façon le programme a été rempli.

82. — La construction occupe un vaste rectangle qui n'aurait pu être couvert d'une seule portée. D'ailleurs, il était nécessaire de prendre, pour les ateliers, l'éclairage par le haut; on a été ainsi conduit à constituer, au moyen de supports intermédiaires, quatre travées. La travée principale, la plus large, est parcourue par une voie ferrée d'embranchement avec le chemin de fer régional sur toute la longueur; elle comporte également un pont roulant. Les travées latérales sont couvertes en sheds, ce qui permet un bon éclairage. La dernière travée à gauche est divisée en deux; une partie est coupée par un plancher d'entresol permettant d'installer du petit outillage.

En tête, côté de la voie publique, à la suite d'une vaste cour, sont les bureaux de la direction, de la comptabilité, du dessin, ainsi qu'un logement du contremaître.

En vue d'une extension éventuelle et réalisée depuis, le moteur à vapeur avec le générateur, le réservoir d'eau, sont vers l'extrémité des ateliers, ainsi que la grande cheminée.

On voit que le combustible et les matières premières peuvent entrer par la voie ferrée. Les dépôts de combustibles, aussi bien que celui des métaux et matières premières, sont installés vers le fond, le long du branchement de la voie.

L'élaboration générale se fait par les machines-outils rangées à l'aplomb des arbres de transmission placés dans les travées secondaires.

La manutention des pièces lourdes s'effectue dans le grand hall, au moyen du pont roulant de 25 tonnes.

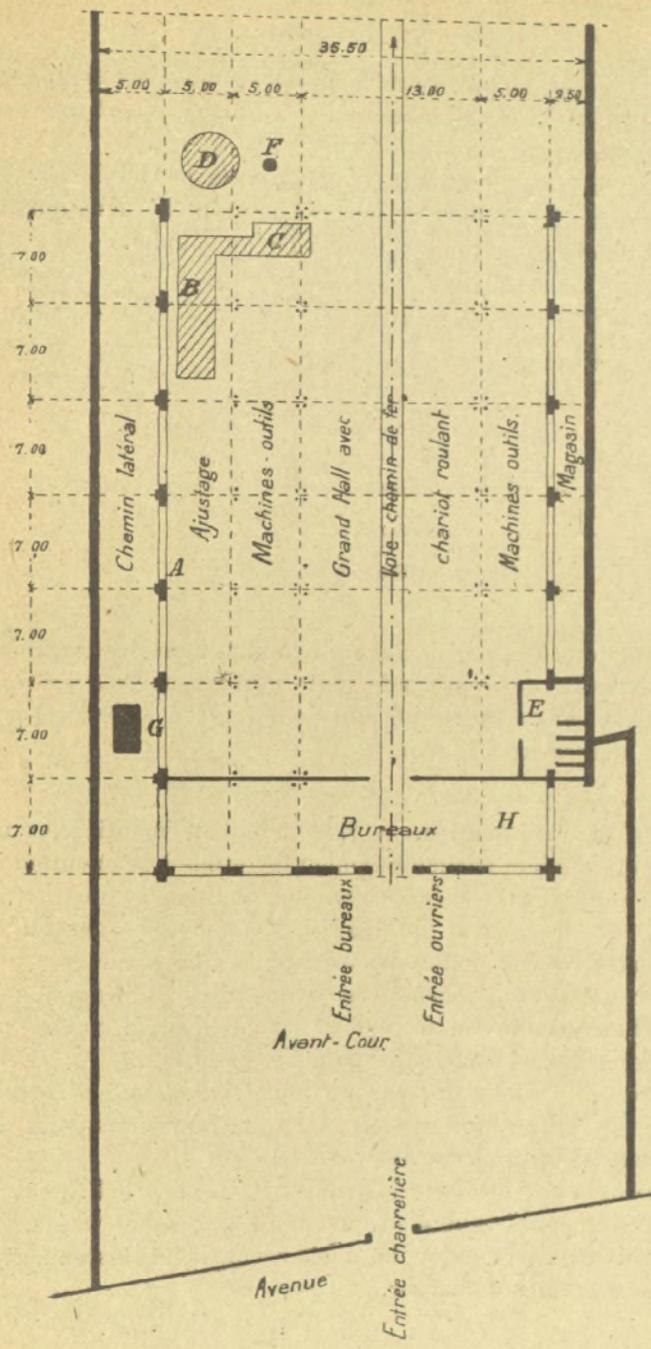


Fig. 5. — Plan d'avant-projet schématique d'un atelier de construction de machines.

A, au premier : dessinateurs, modèles, réservoir; B, générateur; C, machine à vapeur; D, grande cheminée; E, lavabos, urinoirs, cabinets
 F, puits artésien; G, pont-bascule; H, au premier : logement.

La sortie des produits finis se fait dans des conditions analogues à celles de l'entrée et tout l'ensemble est constamment sous le contrôle de la direction.

Les lavabos, urinoirs, cabinets, sont groupés ensemble sur un côté et deux conduites de 0,50 m. en grès assurent l'évacuation des eaux de pluie et des eaux-vannes jusqu'à l'égout public.

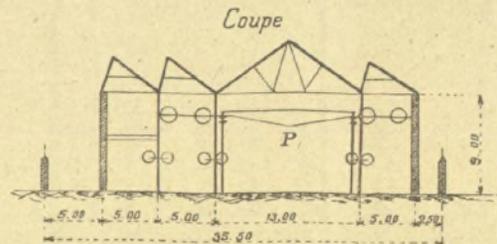


Fig. 6. — Coupe de l'usine.

Les canalisations d'eau et de gaz sont établies dans des tranchées; sur les gros tuyaux, des regards de visite sont aménagés à des intervalles convenables; en outre, un puits artésien F a été creusé pour obtenir l'eau nécessaire à l'usine.

83. Moyens de manutention. — Il convient de mentionner une distribution des ateliers particulièrement favorable à la manutention des matières et applicable spécialement aux ateliers de constructions mécaniques, où les pièces qu'il s'agit de déplacer sont ou des machines complètes, ou même des organes très lourds.

Dans la construction récente de vastes ateliers, pour l'usine Bouhey, à Saint-Ouen, on a réparti ces ateliers en quatre nefs couvertes, en docks, et chacun de 20 m. de largeur.

Chacun de ces docks comporte un pont roulant qui permet les transports jusqu'à une vaste halle courant au bout des quatre nefs et où circulent les wagons sur des voies ferrées.

Les chemins de roulement s'avancent en encorbellement, de manière que les ponts roulants arrivent au-dessus des wagons, où les palans saisissent les objets au déchargement, et descendent au contraire les machines à charger.

§ 3. — DISTRIBUTION VERTICALE SCHÉMATIQUE D'UNE MINOTERIE

84. — On sait que dans la meunerie, le grain, avant d'arriver aux meules ou aux cylindres (suivant le système de mouture que l'on adopte) pour être transformé en farine, doit subir des opérations multiples de nettoyage. La farine brute, obtenue tout d'abord, est en quelque sorte une nouvelle matière première qu'il faut traiter spécialement pour la débarrasser du son et qu'il est nécessaire de bluter avec soin.

Ce sont ces diverses opérations qu'il s'agit de réaliser économiquement.

85. — Dans l'organisation méthodique d'une minoterie, le grain en sacs est tout d'abord monté à l'étage supérieur. C'est de là qu'il est versé par une chaîne à godets dans les machines successives où il subira les nettoyages nécessaires; ce sont :

L'*émoteur*, qui enlève la terre et les corps étrangers;

Le *tarare*, où le grain est nettoyé par ventilation;

De là, toujours en descendant par son propre poids, le grain se rend aux *cribleurs* et *trieurs*;

Un *appareil magnétique* enlève les parcelles de fer qui peuvent s'y trouver mélangées;

Si les blés sont durs et secs, on les fait passer dans des *cylindres mouilleurs*, en tôle pleine, où un filet d'eau les humecte.

Ensuite, le *dégermeur centrifuge*, formé de deux roues de métal à cannelures, force le grain à s'ouvrir en s'aplatissant et en abandonnant son germe qui est séparé par une bluterie. Toutes les impuretés sont réunies dans une chambre à poussières tandis que le grain, ainsi nettoyé, atteint les appareils de mouture, meules ou cylindres.

86. — Cette première série d'opérations donne naissance à la farine brute, qui doit être soumise à de nouvelles manipulations de triage et d'appropriation, pour lesquelles on commence par la remonter au grenier, au moyen de chaînes à godets. La farine redescend ensuite en traversant les différents appareils de bluterie, qui la séparent du son.

Comme on le voit, le principe du travail vertical est ici nettement appliqué, avec d'autant plus d'avantage qu'il permet de disposer

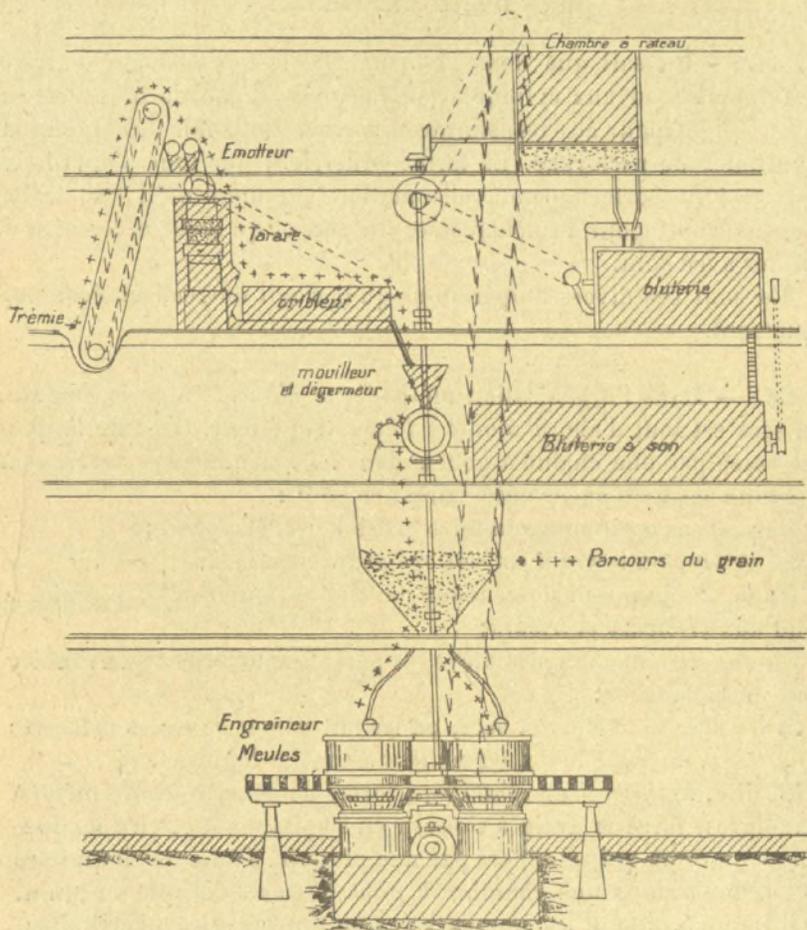


Fig. 7. — Moulin à blé.

tous les appareils autour d'un arbre moteur vertical, sur lequel se prennent toutes les transmissions.

§ 4. — USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE

87. — Parmi toutes les usines qu'un ingénieur peut être appelé

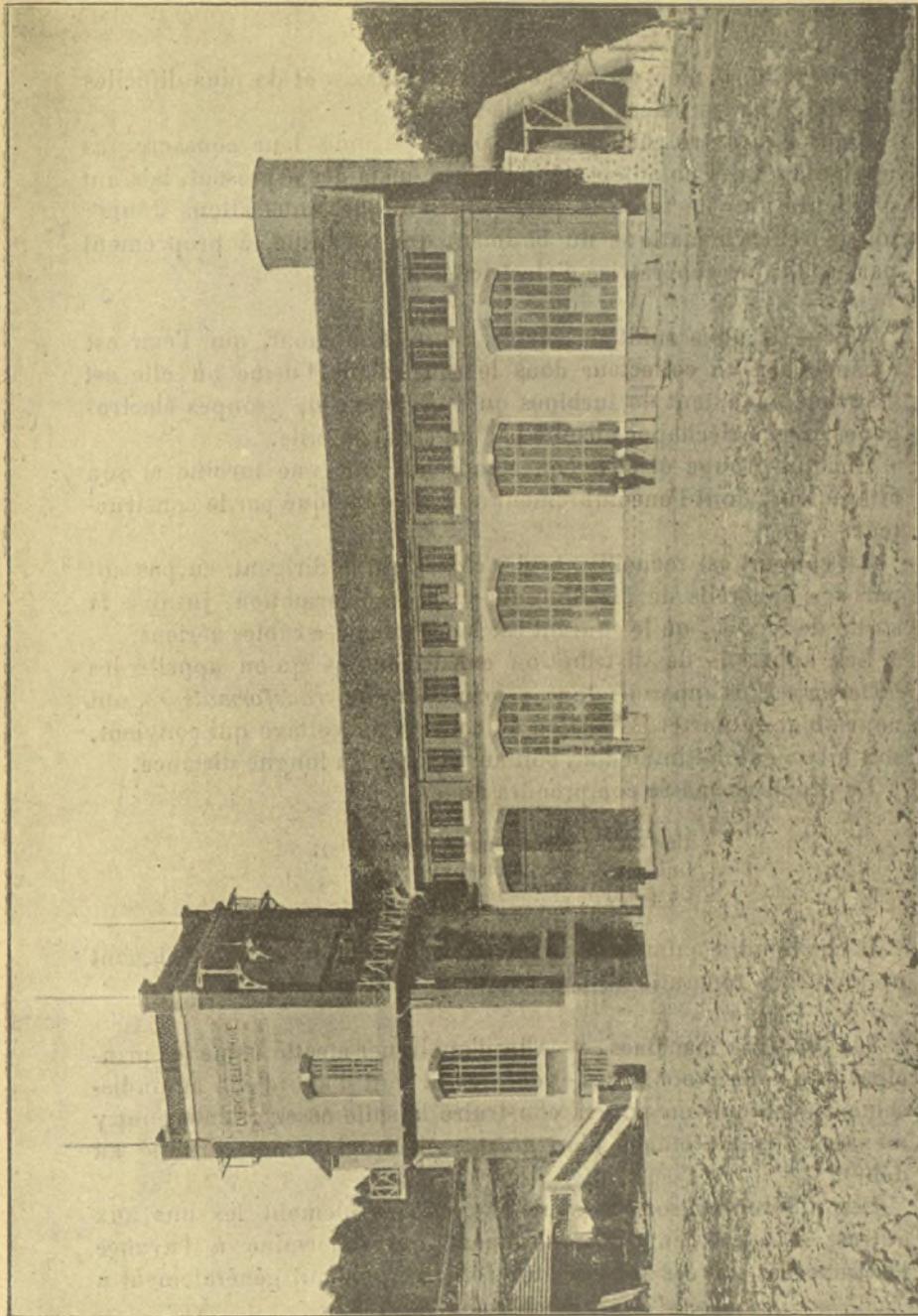


Fig. 8. — Usine hydro-électrique d'Entraygues (Var).

à construire, il n'en est pas de plus complexes et de plus difficiles à établir que les usines hydro-électriques.

Dans une autre partie de cet ouvrage, nous leur consacrerons une étude aussi complète que possible, mais dès à présent, laissant d'ailleurs de côté toute la partie hydraulique, nous allons donner un aperçu schématique du bâtiment qui constitue, à proprement parler, l'usine génératrice d'électricité.

88. — Il nous suffit de savoir, pour le moment, que l'eau est amenée par un collecteur dans le sous-sol de l'usine où elle est distribuée à autant de turbines qu'il est prévu de groupes électrogènes. L'eau s'échappe ensuite par un canal de fuite.

Chaque groupe électrogène comprend donc une turbine et son alternateur, dont l'encombrement a dû être indiqué par le constructeur.

Le courant est recueilli par des câbles qui le dirigent, en passant par des appareils de distribution et de transformation, jusqu'à la sortie de l'usine, où le courant est lancé dans des câbles aériens.

Les appareils de distribution constituent ce qu'on appelle les *tableaux*, et les appareils de transformation, ou *transformateurs*, ont pour objet de porter la tension du courant au voltage qui convient, soit à son emploi immédiat, soit au transport à longue distance.

Le projet de masse comprendra donc :

Une salle des machines (alternateurs);
Une chambre de tableaux;
Un poste de transformation.

Il conviendra enfin de compléter cet ensemble, en y adjoignant un atelier de réparations.

89. Salle des machines. — Afin d'appliquer à cette usine les principes que nous avons posés et de prévoir tout d'abord son agrandissement éventuel, on pourra construire la salle assez grande pour y ménager l'emplacement d'un groupe électrogène non installé au début.

Les différents groupes sont placés parallèlement les uns aux autres, et c'est leur encombrement qui détermine à l'avance l'entraxe des travées (chaque travée correspondant généralement à

un groupe) et la largeur du bâtiment, en ménageant à la queue des machines une large allée de circulation.

Sur ces données, la salle que nous offrons comme exemple sur la fig. 9, mesure 33 m. de longueur et 11,50 m. de largeur intérieure, permettant l'installation de cinq groupes principaux et d'un groupe auxiliaire.

90. — L'une des portes (c'est généralement la porte permettant l'accès en pignon) doit avoir une dimension suffisante pour le passage des machines.

En outre, un pont roulant assurera la manutention de ces machines pour leur mise en place ou leur réparation. C'est la nécessité de ménager un chemin de roulement pour cet engin qui a forcé à donner 0,80 m. d'épaisseur aux murs de cette salle.

91. **Chambre des tableaux.** — A la suite de la salle des machines, et en communication avec elle par une baie de 11 m. de large, on a établi un bâtiment spécial à plusieurs étages où sont installés les tableaux qui permettent la manipulation des courants électriques et la sortie des câbles définitifs.

92. **Transformateurs.** — Enfin, attenant à ce second bâtiment, se trouve la salle des transformateurs. En raison des fortes tensions produites, le poste des transformateurs doit être convenablement isolé.

Au premier étage, on a placé les logements.

93. — Les différentes parties qui composent l'usine sont mises en évidence à l'extérieur par différentes saillies, accusées d'ailleurs sur le plan et par la silhouette des toitures.

Assez souvent, la sortie des câbles aériens se fait en haut d'une tour dont on peut voir un exemple sur la figure photographique⁽¹⁾ et qui contribue d'ailleurs au pittoresque de l'aspect d'ensemble.

(1) Usine d'Entzheim.

TITRE II
ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ÉLÉMENTS
DE LA CONSTRUCTION

CHAPITRE IV
DES FONDATIONS

- § 1. CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES. — Examen des procédés constructifs.
§ 2. FOUILLES ET TERRASSEMENTS. — Déblais rocheux et roctage; emploi de la mine. — Exécution mécanique des terrassements, excavateurs, dragages sous l'eau. — Épuisements et mise à sec, enceinte, batardeau.
§ 3. MASSIFS DE FONDATION en tranchée continue. — Semelles et grils en charpente. — Radiers généraux. — Piliers isolés, havage sur rouet descendant. — Pilotis.
§ 4. EMPLOI DU BÉTON ARMÉ DANS LES FONDATIONS D'USINE.

§ 1. — CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

94. Examen des procédés constructifs. — Dès qu'un avant-projet est élaboré, il faut aborder l'étude du mode de construction et des dispositifs qu'il convient d'adopter.

Il y a lieu tout d'abord de fixer son choix sur les matériaux qui entreront dans la construction d'une manière générale; les matériaux dont l'emploi est le plus avantageux seront ceux que l'on rencontre dans la région. Pour ceux-là même qui n'en proviennent pas directement, on peut prendre pour guide la pratique locale qui a toutes chances d'être la plus économique, car elle résulte d'une expérience séculaire, et bien rares sont les cas où l'on aurait intérêt à s'en écarter sans courir les risques d'une augmentation de dépense.

95. — L'ordre logique est évidemment d'examiner d'abord la question des fondations, puis celle des maçonneries, les planchers, la charpente et enfin la couverture.

C'est cet ordre que nous avons suivi dans nos *Notions sur la construction des bâtiments* et l'on voudra bien se reporter à ce volume pour le détail des procédés généraux applicables à tout ouvrage de construction.

Nous devons, en effet, nous borner ici à compléter ces notions en insistant sur les formes et les méthodes qui s'appliquent plus particulièrement aux bâtiments industriels et aux usines.

§ 2. — FOUILLES ET TERRASSEMENTS

96. — En ce qui concerne les fouilles, leur excavation ne présente de difficultés que lorsqu'elles comportent des déblais de terrains rocheux ou lorsque le travail est gêné par les eaux.

97. **Déblais rocheux. Roctage.** — La roche tendre peut être attaquée à la pioche ou au pic; on peut recourir à la pince de carrier si cette roche est fissurée et se détache alors par gros blocs. Mais, s'il s'agit de roche compacte et présentant une grande résistance au pic, il faut pratiquer le roctage à la mine.

Le travail consiste à *forer* tout d'abord des trous de mine, soit au moyen de *fleurets* courts que l'on frappe à la masse pour désagréger peu à peu la roche, soit au moyen de *barres à mine*, longues et lourdes, terminées par une tranche en biseau, qui, par des percussions répétées, désagrègent la pierre au fond du trou. Il faut avoir soin, à chaque coup, d'imprimer à l'outil une rotation de quelques degrés autour de son axe, et d'arroser pour faciliter la désagrégation et empêcher l'échauffement de détremper le tranchant.

Les trous de mine ont environ 3 cm. de diamètre, ce qui permet d'y introduire des cartouches de dynamite, de cheddite ou de tout autre explosif usuel.

Sur les grands chantiers, quand il s'agit de produire un abatage rapide sur un large front de taille, ou même pour le creusement de galeries, on fait usage de perforatrices mécaniques, opérant encore par percussion, le plus souvent, et mues par l'air comprimé ou l'eau comprimée, plus rarement par l'électricité.

98. Mise en jeu d'une mine. — Le trou étant foré, on y introduit une charge de poudre de mine ou d'un explosif plus brisant, dont la quantité est proportionnelle au cube de la ligne de moindre résistance, qui est la plus courte distance du centre de la charge à la paroi d'abatage.

On amorce au moyen d'une capsule au fulminate de mercure coiffant l'extrémité d'un cordeau détonant instantané qui se loge dans le trou, depuis la charge jusqu'au jour. Précisément parce que sa combustion est extrêmement rapide et qu'il faut donner aux ouvriers le temps de se mettre à l'abri, on prolonge par un bout de *bickford*, mèche à combustion lente et régulière, assez long pour que les ouvriers puissent s'éloigner hors de la projection des éclats.

On remplace le plus souvent aujourd'hui le cordeau détonant par une *mise de feu électrique*.

On bourre au-dessus de la charge. Avec la poudre de mine dont l'action est lente, le bourrage doit être complet et serré. Il est moins indispensable avec la dynamite et les autres explosifs du même genre.

Lorsqu'on veut produire un grand effet au moyen de plusieurs pétards, on doit régler la mise de feu de tous les fourneaux de manière à ce qu'elle soit bien simultanée. C'est ce qu'on appelle *compasser les feux*. A cet égard, l'emploi de l'électricité donne de grandes facilités, puisqu'il suffit de relier tous les fils pour y lancer à la fois l'étincelle d'allumage.

99. Exécution mécanique des terrassements. — Dans les travaux connexes à la création d'un établissement industriel, on a souvent à exécuter des terrassements importants; tel est le cas pour le creusement du canal d'amenée des eaux d'une usine hydraulique,

Il est alors avantageux d'y remplacer la main-d'œuvre animée par le travail d'engins mécaniques, dont les plus connus sont les *excavateurs à godets* (pelles à vapeur) qui peuvent travailler de deux manières : soit en *décapement*, c'est-à-dire en enlevant les déblais suivant un talus situé au-dessus du niveau de la plate forme sur laquelle ils circulent, soit en *fouille*, et, dans ce cas, ils roulent sur une voie posée sur la berge de la tranchée et creusent en dessous de ce niveau.

100. Terrassement sous l'eau. — Les terrassements sous l'eau se font sans mise à sec, lorsqu'il s'agit, par exemple, de l'approfondissement d'une partie du lit d'un cours d'eau.

Lorsqu'il s'agit, au contraire, de construire un ouvrage d'étendue limitée, par exemple une pile en rivière, on entourera l'emplacement, le plus souvent, d'un *atardeau* ou d'une enceinte étanche et l'on épuisera l'eau au moyen de pompes.

101. Dragages. — Dans le premier cas, c'est-à-dire pour les travaux sans mise à sec, on se sert de *bateaux-dragues*.

Le type le plus commun comporte une chaîne à godets tournant sur deux tambours ou *tourteaux* montés aux deux bouts d'une *élinde* à laquelle on peut donner plus ou moins d'inclinaison suivant la profondeur où l'on veut atteindre.

Il existe aussi des *dragues à succion* pour l'enlèvement des sables ou des vases très fluides que l'eau peut entraîner avec elle lorsqu'on la pompe.

102. Fouilles avec épusement et mise à sec. — Nous avons dit qu'on peut isoler l'emplacement d'un ouvrage en rivière par l'établissement d'une enceinte dont l'ossature résistante est constituée au moyen de pieux à section carrée, reliés en tête par des madriers moisés, entre lesquels on enfle et on bat des palplanches jointives.

La figure ci-dessous montre les trois phases de la construction de ce platelage en palplanches :

- 1° Pour la mise en fiche;
- 2° Pendant le battage;
- 3° Le panneau terminé.

103. — Malgré les joints à grain d'orge qui réunissent les palplanches sur leurs longs côtés, il est toujours difficile d'obtenir une étanchéité complète et l'on est forcé d'épuiser constamment pendant tout le temps où l'on veut maintenir l'intérieur de l'enceinte à sec.

104. Enceinte pour fondation. — Il arrive souvent que l'enceinte en palplanches est destinée à servir de coffrage au massif de fondations lui-même, dont elle a les dimensions extérieures. Il n'est pas alors nécessaire d'épuiser; on se contente de draguer le fond de ce

caisson pour enlever la vase avant d'y couler du béton hydraulique de manière à le remplir.

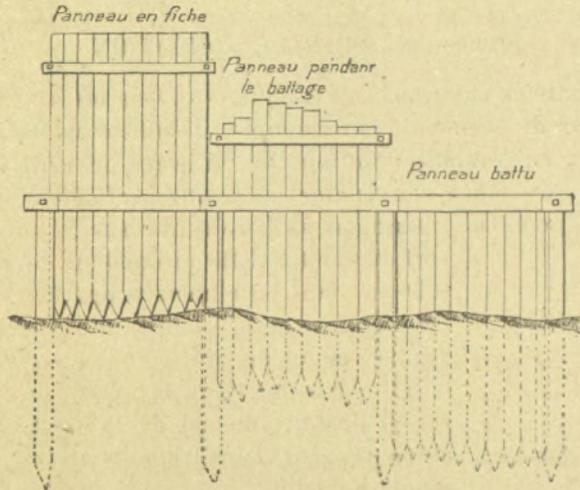


Fig. 10. — Palplanches.

105. Équarrissages. — Pour une enceinte où l'on doit pratiquer l'épousage et dont la paroi supportera par conséquent la poussée de l'eau, on peut déterminer l'équarrissage des pieux et l'épaisseur des palplanches par les formules suivantes, dues à M. Croizette-Desnoyers :

Équarrissage d'un pieu carré :

$$b = 0,10 \text{ m.} + 0,025h;$$

Épaisseur des palplanches :

$$e = 0,05 \text{ m.} + 0,025h.$$

h est la hauteur d'eau. — L'unité est le mètre.

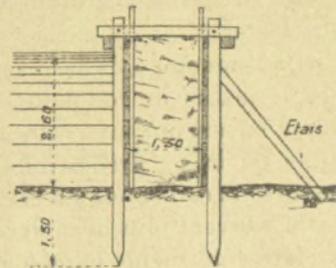


Fig. 11. — Batardeau.

106. Batardeaux. — Pour constituer une enceinte suffisamment étanche, il convient de recourir à un véritable *batardeau* qui sera formé le plus souvent de deux rideaux en palplanches, placés à peu de distance l'un de l'autre, solidement entretoisés, et entre lesquels

on dame fortement de la terre argileuse. Des étais obliques s'opposent au renversement.

§ 3. — MASSIFS DE FONDATION

107. Fondations en tranchée continue. — Dans les cas habituels, pour un mur de bâtiment, par exemple, il suffit d'établir le massif de fondation en tranchée continue qui, si le sol présente immédiatement une résistance convenable, aura une profondeur minimum telle que la gelée ne puisse pas se faire sentir sur la terre qui lui sert d'assiette. Cette profondeur est d'environ 0,50 m. dans les climats tempérés; mais pour un bâtiment un peu lourd, une profondeur de 1 m. et même de 2 m. pourra être nécessaire.

S'il existe une cave, le massif de fondation est en dessous du sol de la cave. On peut alors répartir symétriquement les empattements ou saillies.

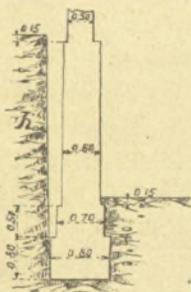


Fig. 12. — Fondation par retraites successives.

Il arrive aussi qu'un mur en élévation est adossé à un massif de terre, soit que l'on masse un remblai sur une de ses faces, soit qu'on adosse le mur au terrain naturel excavé.

Dans ce dernier cas, et pour réduire la fouille au strict nécessaire, on s'efforce de tailler le terrain naturel suivant un plan vertical; le terrain, pour peu qu'il soit consistant, peut rester ainsi en paroi verticale, tout au moins le temps nécessaire au montage de la maçonnerie.

Si le massif de fondation présente un empattement intérieur, il restera encore un intervalle où l'on tassera de la terre argileuse, à moins qu'on ne préfère bloquer en pierres sèches, ce qui permet d'assurer l'écoulement de l'eau par des barbacanes inférieures; mais il sera souvent plus avantageux de maintenir toute la partie adossée aux terres au même parement, y compris le massif de fondation.

Le massif de fondation est en maçonnerie de moellons ou de briques, ou mieux encore en béton de chaux hydraulique.

L'empattement minimum est de 0,05 m. pour la maçonnerie de moellons, et de 0,10 m. pour le béton dont les angles offrent peu de résistance.

108. Semelles et radiers généraux. — Nous rappellerons seulement que, lorsque le terrain offre peu de résistance, et pour ne pas aller chercher profondément une couche solide, on établit les murs sur des semelles élastiques, et quelquefois même le bâtiment tout entier sur un radier continu (voir *Notions*). On emploiera utilement un radier en sable étendu par couches successives de 0,20 à 0,30 m., et fortement mouillé pour déterminer le tassement. La hauteur totale du radier est généralement de 2 m. et il doit déborder les murs extérieurs d'une largeur égale à la hauteur. On verse le sable dans une enceinte de palplanches qui l'empêche d'être entraîné par les eaux, à travers les fissures du terrain.

109. Fondations sous massifs de machines. — Le système des semelles élastiques se prête à l'installation des massifs de fondation sous des machines particulièrement lourdes.

A cause des chocs et des vibrations qu'il faut prévoir dans ce dernier cas, il est nécessaire de donner à ce genre de fondations une grande masse et une élasticité qui aide à amortir ces vibrations.

Les figures indiquent comment on peut construire alors une semelle constituée par un gril de charpente en bois ou en profilés de fer.

Il est bon de faire reposer ce gril sur une couche de sable bien tassée par arrosage ; et il sera bon également de noyer les fers dans une table de béton.

Le bois est particulièrement élastique.

L'interposition d'une couche d'asphalte, matière naturellement plastique, améliore sensiblement l'amortissement des trépidations.

110. Fondations sur piliers isolés. — Dans le cas où l'on se décide à aller chercher une couche résistante à grande profondeur, pour y asseoir la fondation, on peut recourir aux *piliers isolés*.

Les piliers sont placés aux points les plus chargés de l'ouvrage, en particulier aux angles du bâtiment et aux intersections des murs intérieurs.

Il est évident que l'assiette de chaque pilier, sur la couche de terrain solide, doit avoir la surface nécessaire pour que la résistance du terrain ne soit pas dépassée, la charge du pilier correspondant à celle du bâtiment sur l'entraxe des travées comprises entre les différents piliers.

Si le poids à répartir n'est pas trop considérable, on peut donner aux piliers une forme rectangulaire; la largeur doit être suffisante

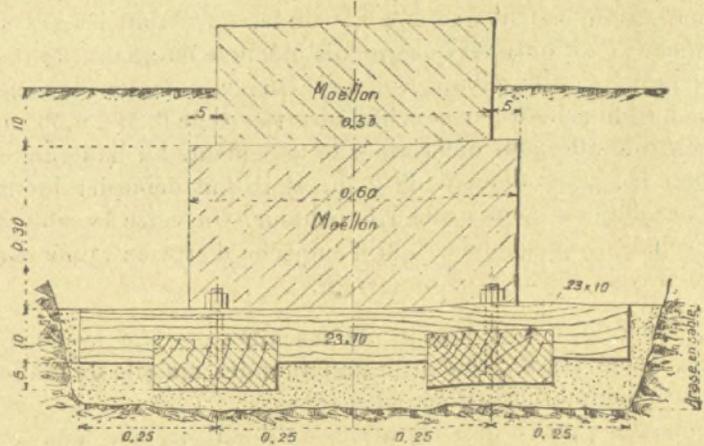


Fig. 13. — Fondation sur châssis en bois.

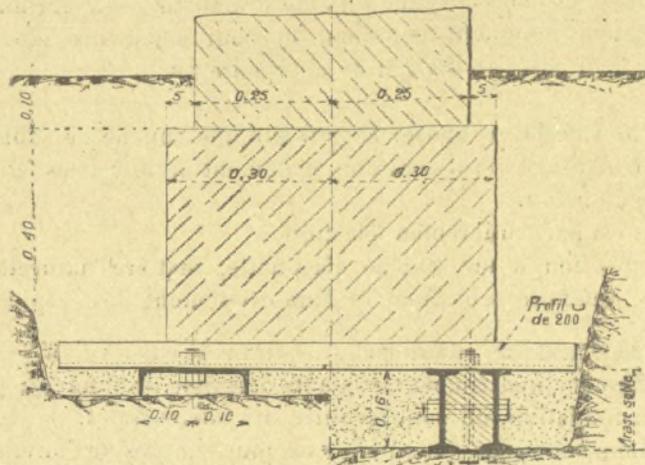


Fig. 14. — Fondation sur châssis en profils.

pour que le creusement du puits se fasse sans difficulté. Il faut une largeur d'au moins 0,60 m. pour que l'ouvrier puisse travailler commodément. L'autre dimension s'allonge suivant l'axe du mur, en réduisant ainsi le vide entre piliers au strict nécessaire (fig. 15).

Ce vide est ensuite franchi par une voûte ayant l'épaisseur du mur augmentée de deux faibles empattements.

Cette voûte s'exécute sans cintres particuliers; il suffit de tailler

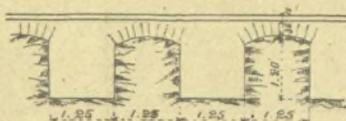


Fig. 15. — Fondations sur tronçons discontinus.

le fond de la tranchée suivant la courbe d'intrados et d'y bloquer du béton de chaux hydraulique.

On fait aussi des puits carrés ou ronds, comme les figures 16 et 17 en offrent un exemple.

111. Exécution des puits par compression. — Dans le procédé Dulac, on creuse des puits de 0,70 m. à 0,80 m. de diamètre, en laissant tomber sur le sol, au moyen d'une sonnette de 10 à 12 m. de hauteur, un pilon conique pesant 2 200 kg. qui, non seulement fore le puits, mais comprime le terrain sur les parois et augmente sa résistance latérale.

Le puits terminé, on y coule du béton que l'on comprime par le choc d'un pilon à pointe ogivale, manœuvré avec la même sonnette.

En dehors de ce procédé particulier, on peut aussi, sans aller jusqu'à une couche solide, augmenter la résistance superficielle du terrain en le lardant de pieux courts mais très rapprochés.

112. Puits par havage sur rouet descendant. — Lorsque la profondeur est assez considérable ou que l'on traverse des terrains éboulés, on a tout intérêt à appliquer pour la construction des puits le procédé dit par havage sous rouet descendant.

On appelle *rouet* un cadre ou une couronne en matériaux élastiques — bois ou fer — disposé en trousse coupante sur son bord extérieur, afin de faciliter son enfoncement; le bord de la trousse reçoit même un *couteau* en fer plat. La trousse présente une face horizontale sur laquelle on maçonne une murette en briques.

Cette chemise en briques forme comme un tube qui protège le travailleur contre les éboulis. Elle descend au fur et à mesure que le

puits s'approfondit, et il ne reste plus qu'à remplir le vide intérieur

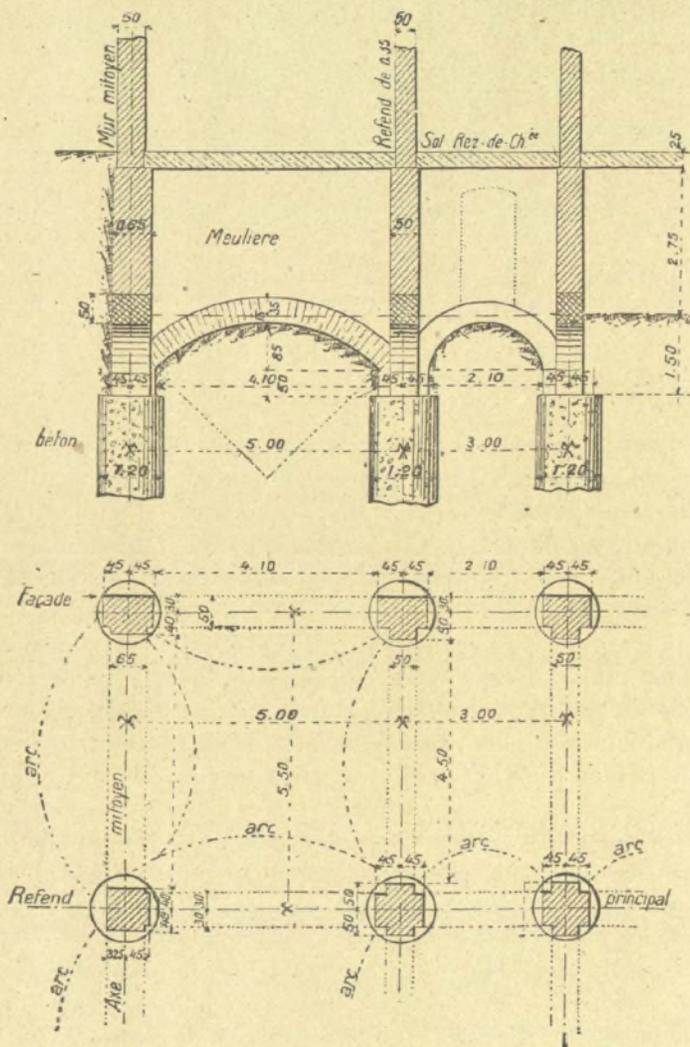


Fig. 16 et 17. — Fondations sur puits avec arcs de décharge.

avec du béton quand on a atteint la couche solide où l'on doit s'arrêter.

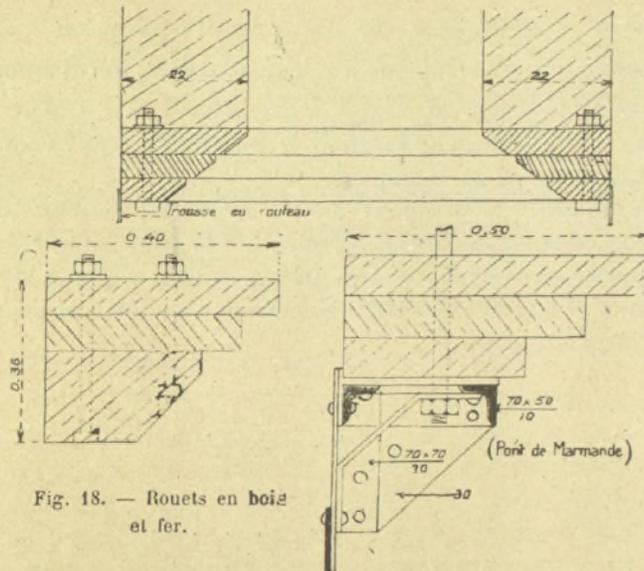


Fig. 18. — Rouets en bois et fer.

113. Fondation sur pilotis. — L'emploi de pilotis en bois, encore qu'il soit plus rare qu'autrefois en raison même du prix du bois et des ressources nouvelles que nous offrent le métal ou le béton armé en particulier, est susceptible de rendre d'utiles services dans la construction des établissements industriels, notamment lorsqu'il s'agit de fonder en dessous du niveau de l'eau. Les pilotis dispensent alors de recourir à des batardeaux et à des épaissements coûteux.

Les essences de bois utilisées pour les pieux sont : le chêne, le hêtre, l'orme et le pin. On choisit naturellement des bois de droit fil. Pour les bois en grume, on doit écorcer et enlever les nœuds saillants.

Nous rappellerons qu'au point de vue de la résistance, et par conséquent de la charge totale qu'un pieu peut supporter, deux cas sont à considérer.

1° Si le pieu rencontre une couche de terrain solide et résistante, on calcule la charge portante à raison de 32 kg. par cm^2 de section transversale ; cette règle suffit pour un avant-projet.

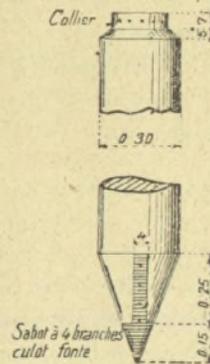


Fig. 19

Pour serrer le problème de plus près, il faudrait tenir compte de la longueur du pieu ou plus exactement du rapport d'élançement $\frac{l}{b}$ où l est la longueur et b la plus petite dimension transversale (le diamètre s'il s'agit d'une section circulaire). On sait en effet qu'une pièce longue périt par flambage.

Pour un pieu, le flambage n'est pas à craindre tant que la longueur ne dépasse pas 20 fois la plus petite dimension. Le bois peut alors porter par cm^2 de section 60 kg. pour le sapin et 80 kg. pour le chêne. Quand le rapport d'élançement s'accroît, on peut prendre les valeurs suivantes :

$$\begin{array}{ll} \text{pour } \frac{l}{b} = 20 & p = 60 \text{ (sapin) ou } 80 \text{ (chêne).} \\ - \frac{l}{b} = 30 & p' = \frac{1}{2}p. \\ - \frac{l}{b} = 40 & p' = \frac{1}{4}p. \end{array}$$

2° Si le pieu est tout entier enfoncé en mauvais terrain, comme il arrive quand la première couche résistante est à une profondeur qu'on ne peut atteindre, le pieu est encore susceptible de porter une certaine charge, par suite du frottement latéral qui l'empêche de descendre.

Ce frottement est évidemment proportionnel à la surface frottante, et l'on calcule la charge portante à raison de 700 ou 800 kg. par m^2 de la surface périphérique du pieu.

114. Battage des pieux. — On enfonce les pieux au moyen d'une *sonnette*. C'est une charpente en bois qui comporte essentiellement deux pièces verticales ou *jumelles* ne laissant entre elles que le vide nécessaire pour le passage des *galopins*, ou petites pièces en bois dur qui servent de guides au *mouton*.

Le *mouton* est une masse de fonte ou de bois dur fretté qu'on laisse tomber de toute la hauteur des jumelles sur la tête du pieu, afin de déterminer l'enfoncement par les chocs répétés.

En vertu du principe de la conservation des quantités de mouvement, si la masse m du mouton arrive sur le pieu avec une vitesse V , la masse totale $m + M$ du mouton et du pieu continuera sa course avec une vitesse réduite v , telle que :

$$mV = (M + m)v.$$

Mais les frottements entrent en jeu, et peu à peu l'enfoncement après chaque coup diminue.

On appelle *refus relatif*, l'enfoncement au bout d'un certain nombre de coups, et l'on a le *refus absolu* quand la pointe pénètre dans une couche résistante et solide.

On conçoit que la vitesse étant fonction de la hauteur de chute, on peut obtenir le même effet en donnant au mouton :

une faible masse et une grande hauteur de chute,
ou une grande masse et une faible hauteur de chute.

D'autre part, une trop grande force vive $\frac{1}{2} mV^2$ peut détériorer et même briser le pieu. On a donc intérêt à prendre un mouton très lourd (2 à 3 000 kg.) et une hauteur réduite (1 m.).

Les petites sonnettes sont à tiraudes; les moyennes sont à dé clic et mues par un treuil à vapeur; enfin les grandes sonnettes sont à vapeur directe. La vapeur agit alors pour soulever un cylindre servant de mouton par rapport au piston restant fixe.

§ 4. — EMPLOI DU BÉTON ARMÉ

115. — Nous nous contenterons ici d'indiquer les grandes ressources que l'on peut trouver dans l'emploi du béton armé pour la constitution des fondations d'une usine, nous réservant de donner quelques indications plus précises, en ce qui concerne ce système de construction.

On applique le béton armé :

- 1° Sous forme de radier général;
- 2° De pilotis.

En général, même sur un mauvais terrain, le procédé de fondation sur semelles ou radiers généraux suffit pour asseoir un bâtiment dont les charges ne sont pas exceptionnelles.

Il arrive toutefois que, non seulement les charges transmises par des piliers sont très considérables, mais aussi que leur répartition est très inégale. En pareil cas, on pourrait craindre qu'un radier se disloquât. Il est préférable alors de rendre à peu près indépendants les éléments de la fondation, en traitant séparément chaque massif de charge.

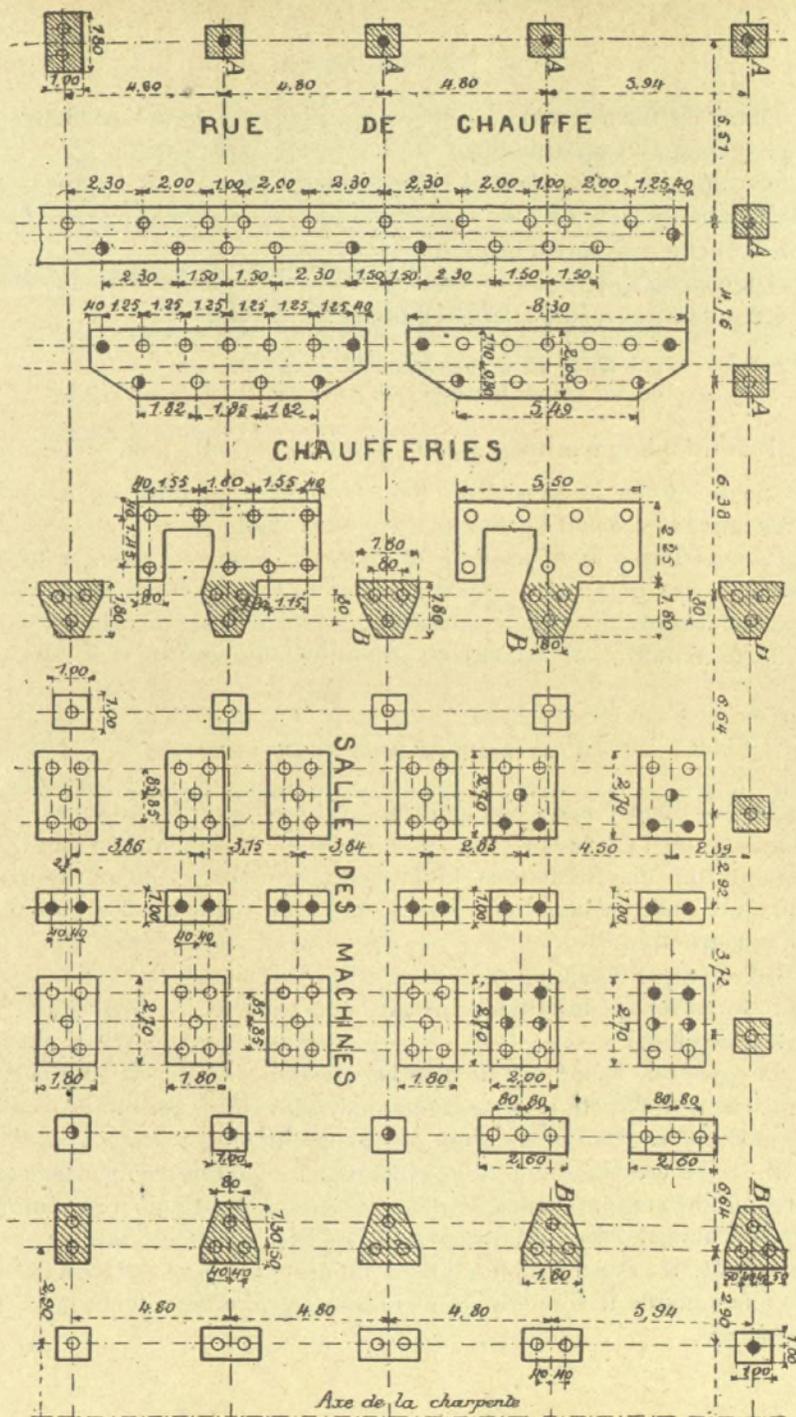


Fig. 20. — Fondations de la Centrale électrique de Caen.

Nous en donnons un exemple emprunté aux fondations de la Centrale électrique de Caen, qui montre comment on peut organiser l'ensemble des fondations, à la fois du bâtiment lui-même et des lourdes machines qu'il contient.

Cette importante usine comprend trois nefs parallèles abritant respectivement : la chaufferie, la salle des machines et la salle des tableaux.

La charpente elle-même est métallique. Elle est assez légère et la charge transmise par chacun des montants verticaux est assez faible pour qu'il ait suffi de sceller le poteau sur une semelle carrée de 1 m² coiffant un seul pieu.

Les piliers intermédiaires de la grande nef devant au contraire supporter les ponts roulants, on a proportionné la fondation aux charges et aux ébranlements qui en résultent.

Chaque support est constitué par trois pieux, formant en plan un triangle de 0,80 m. de côté, et dont les têtes sont noyées dans une semelle en béton affectant la forme d'un triangle à angles abattus.

On remarquera sur le croquis les importants massifs servant de fondation, soit aux chaudières, soit aux machines, dont quelques-unes sont très lourdes. Ces différents massifs sont constitués par d'importantes tables de béton sur un nombre convenable de pieux.

Dans une pareille construction, on peut employer des pieux d'une nature quelconque (bois, acier, ciment armé).

Les pieux en béton armé peuvent intervenir utilement dans ce cas.

CHAPITRE V

MASSIFS EN MAÇONNERIE

§ 1. DES MURS. — Différentes catégories. — Murs à contreforts.

§ 2. DES VOÛTES. — Voûtes épaisses pour planchers sous machines. — Exemple de la chambre d'eau d'une usine hydraulique.

§ 3. CHAINAGE DES MURS. — Mode de serrage, écrou à lanterne. — Ceinture des coupes. — Chainage des maçonneries soumises à la chaleur. — Cheminées et massifs de fours.

§ 1. — DES MURS

116. Différentes catégories. — Les murs que l'on peut avoir à construire peuvent se ranger en plusieurs catégories :

a) Les *murs terrassés* sont ceux qui soutiennent un massif de terre, soit verticalement, soit sous une inclinaison plus raide que le talus naturel des terres.

Le plus souvent, pour les murs de soutènement qu'on aura à construire, la terre en arrière est arasée en terrasse ou terre-plein; mais dans certains cas, le remblai s'élève en arrière et vient s'appuyer par un talus au sommet du mur.

b) Les *murs de réservoirs* et les *barrages* sont destinés à maintenir une retenue d'eau dont la poussée tend à renverser l'ouvrage.

Dans l'aménagement d'une chute et, d'une manière générale, dans l'installation d'une usine utilisant la force hydraulique, on aura toujours à établir des ouvrages de ce genre, et nous aurons à examiner plus au long ce qui les concerne dans un des chapitres suivants.

c) Les *murs de clôture*.

d) Les murs de bâtiment proprement dits, c'est-à-dire : les murs de cave et les murs en élévation.

117. — e) Les voûtes pourraient constituer à elles seules une classe spéciale parmi les ouvrages en maçonnerie. On les rencontre non seulement dans le bâtiment lui-même où les caves (les sous-sols d'une salle de machines, les chambres d'eau d'une usine hydraulique) sont souvent voûtées, mais aussi dans beaucoup d'autres ouvrages : certains murs de soutènement avec voûtes en décharge ; les voûtes soutenant le ciel des tunnels pratiqués notamment pour l'amenée de l'eau dans une usine hydraulique, etc....

Les indications données dans le volume des *Notions* suffiront pour ces différents genres de travaux de maçonnerie.

118. Murs à contreforts. — Nous ajouterons cependant quelques mots sur les murs en élévation, renforcés par des *contreforts*, dont on trouve une application fréquente dans la construction industrielle.

a) Par suite des charges souvent considérables transmises aux murs, soit par les planchers supportant de lourdes machines ou des approvisionnements (des grains par exemple), soit par des ponts roulants ou autres engins, on serait conduit, en beaucoup d'occasions, à donner aux murs des épaisseurs excessives.

C'est quelquefois encore pendant la solution la plus économique si les matériaux sont sur place, abondants et à bon marché ; s'ils proviennent par exemple des excavations nécessaires à l'établissement lui-même.

b) Mais on peut également chercher à réduire le cube des maçonneries en construisant un mur d'épaisseur réduite, que l'on renforcera par des contreforts, aux points où sont appliquées les charges principales, c'est-à-dire, le plus souvent, dans l'axe des trumeaux ou des pleins de la construction.

119. — On peut alors considérer la maçonnerie intermédiaire, comprise d'un contrefort à l'autre, comme un simple remplissage, un masque peu chargé, et qui, par conséquent, peut avoir une très faible épaisseur. Une murette de 0,22 m. en briques y suffit.

On remarquera que si le cube des maçonneries est sensiblement réduit, l'exécution des nombreuses arêtes et des décrochements entraîne des sujétions et des plus-values de main-d'œuvre.

C'est ce qui nous a fait dire tout à l'heure que cette solution peut n'être pas toujours la plus économique. Elle a tout au moins l'avantage de donner plus de variété et d'allure à la façade, et, bien qu'une usine ou un établissement industriel quelconque ne soit pas astreint par sa nature à des règles esthétiques impérieuses, il est toujours préférable, à prix égal, d'adopter une disposition d'un aspect agréable.

120. — Pour le parti à adopter, on pourra se baser sur les considérations suivantes, en résumé.

Un mur plein, d'épaisseur uniforme, est presque toujours sensiblement plus économique lorsqu'il est en moellons bruts trouvés sur

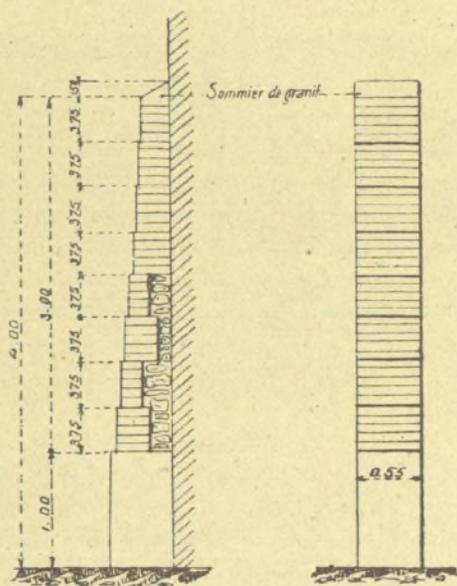


Fig. 21. — Contreforts.

Éperon parementé en briques par assises en ressaut de cinq briques.
Liaison avec mur de moellon de schiste.

place, que si l'on y pratique des décrochements entraînant la sujétion d'arêtes nombreuses.

Avec la brique, au contraire, l'intérêt des évidements est à peu près certain dans tous les cas, les sujétions de dressement des

arêtes étant moins grandes, et le prix au m³ étant au contraire assez élevé.

121. — Dans une salle de machines, l'épaississement du mur est le plus souvent motivé par la nécessité d'établir un chemin de roulement pour un pont roulant.

La saillie du contrefort est donc à l'intérieur; mais quand sa

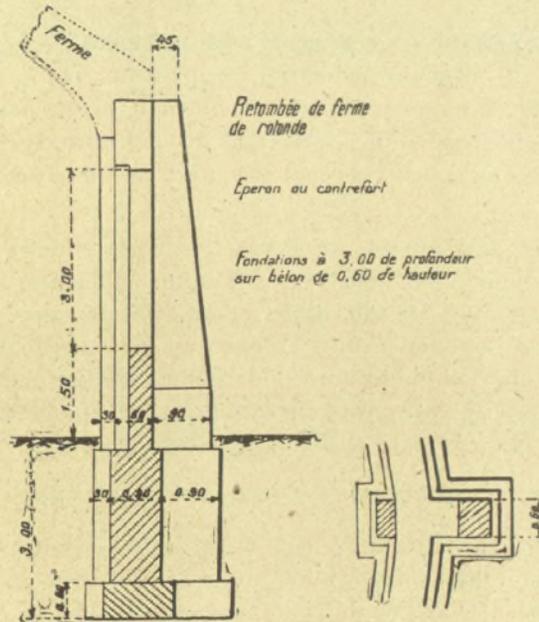


Fig. 21 bis. — Contrefort de rotonde.

présence est surtout motivée par des raisons de solidité, il est préférable de le placer à l'extérieur comme un étau.

122. — On ne lui donne pas alors nécessairement la forme d'un pilastre vertical de mêmes dimensions sur toute la hauteur, et il est naturel au contraire de lui donner une saillie décroissante par des retraites successives à mesure qu'on s'élève (fig. 21).

Nous donnons dans la figure 21 bis la vue d'un contrefort appliqué le long du tambour cylindrique d'une rotonde pour locomotives et destiné à équilibrer la poussée de la charpente.

Dans cet exemple, les contreforts, placés à la retombée des fermes, font à l'intérieur une saillie de 0,30 m. ; à l'extérieur, la saillie est de 0,90 m. à la base et de 0,45 m. au sommet.

§ 2. — DES VOUTES

123. Voûtes épaisses pour plancher sous machines. — L'emploi des voûtes dans un bâtiment industriel ne présente rien de particulier lorsqu'il s'agit uniquement de couvrir une baie percée dans un mur, tandis qu'il appelle quelques réflexions au contraire, lorsqu'il s'agit d'un plancher sur lequel reposent des machines pesantes.

124. — Le plancher, en pareil cas, n'est pas soumis à l'unique condition d'avoir une résistance statique suffisante; il faut, en outre, compter avec les vibrations et les ébranlements. C'est pour cette raison qu'on renonce alors à constituer cette partie de l'ouvrage au moyen d'une simple travure métallique hourdée de béton, mais qu'on a recours au contraire à un épais massif voûté en béton, dont la masse et l'inertie sont susceptibles d'absorber et d'éteindre les trépidations.

125. — La figure 22 montre, par exemple, la constitution du sous-sol d'une usine hydro-électrique, pour l'installation des turbines. L'espace y est décomposé en chambres assez petites, par des piliers épais, et le sol de la chambre supérieure des machines est lui-même formé par une série de voûtes en plein cintre de 2 m. et de 3,40 m. de portée, ayant 0,70 m. d'épaisseur à la clef.

126. — Les figures 24 et 25 indiquent quels problèmes parfois compliqués l'on rencontre dans l'organisation des sous-sols d'une usine du même genre, où tous les étages inférieurs sont en quelque sorte encastrés dans le rocher.

Les murs sont en maçonnerie de moellons bruts, hourdés en mortier de chaux hydraulique et rejointoyés au ciment.

Les voûtes sont en béton de ciment.

L'usine proprement dite, dont la figure 25 donne le plan, forme

un rectangle de 12,60 m. \times 8,10 m.; elle est assise sur le massif servant de logement aux turbines et percé par les canaux de fuite,

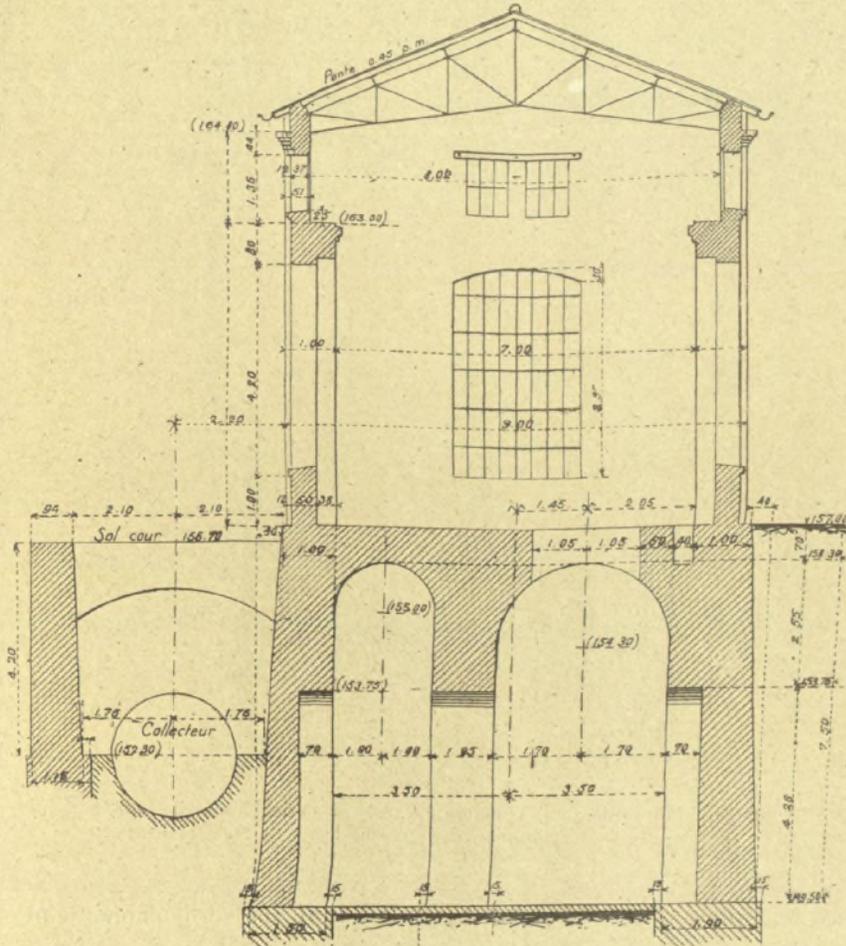


Fig. 22. — Coupe d'un bâtiment d'usine hydro-électrique montrant le sous-sol voûté où sont installées les turbines.

laissant entre le mur de fond et le rocher en arrière, un couloir de 2 m. de largeur.

Le plan de la chambre des turbines montre la division en trois

travées correspondant chacune à une turbine. Le roc sans revêtement forme les parois qui limitent la chambre.

Il en est de même de la chambre formant le dernier étage de sous-

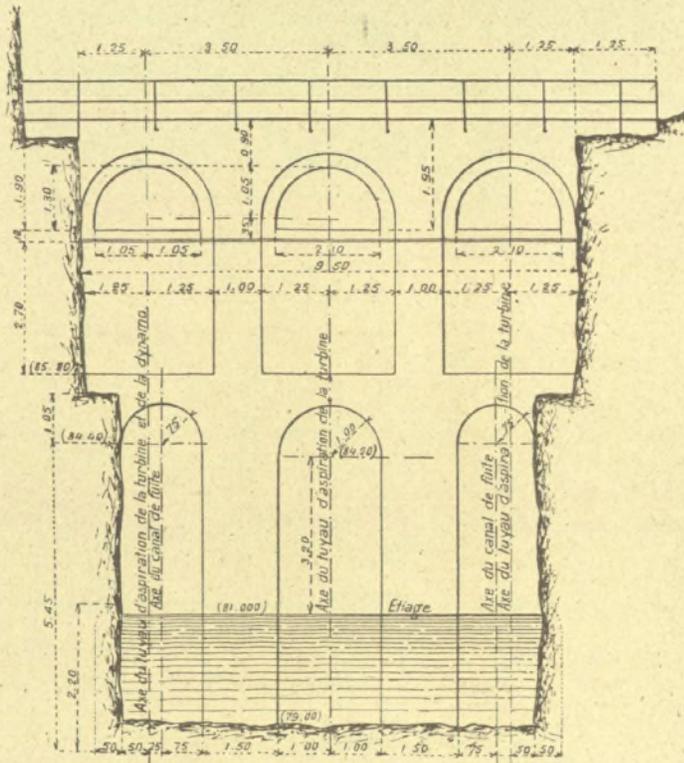


Fig. 23. — Élévation de la chambre des turbines et des canaux de fuite.
Bâtiment des dynamos.

sol et qui amorce le canal de fuite, dont les dimensions sont d'ailleurs réduites au strict nécessaire.

On voit par cet exemple la diversité et la complication des problèmes qui peuvent se poser dans la construction de certaines usines.

des murs de face, avec des bandes de fer transversales suivant les murs de refend.

Les fers plats sont composés de tronçons percés en leurs extrémités de trous que l'on superpose et dans lesquels on engage une barre de fer rond, placée verticalement et noyée elle-même dans la maçonnerie; on a ainsi une *ancre*.

129. — Ces chainages peuvent se trouver complètement noyés dans les maçonneries sans apparaître au dehors; mais parfois, les extrémités de chaque partie droite traversent le mur en retour, dépassent le parement extérieur sur lequel on applique une plaque d'ancrage, à laquelle on peut donner la forme d'une rondelle en fonte, d'une S ou de toute autre combinaison en fer forgé.

130. Mode de serrage. — Nous compléterons simplement ces indications en insistant sur la nécessité d'assurer au chainage un serrage initial, sans quoi son action n'interviendrait qu'après que les murs se seraient fissurés.

Si l'on pouvait poser des barres d'une seule pièce sur chaque partie droite, il suffirait de chauffer chaque barre au moment de la mise en place des ancrages terminaux. Le retrait provoqué par le refroidissement produirait évidemment un serrage énergique; mais cette manière de procéder n'est pas toujours facile à réaliser en pratique, surtout sur de grandes longueurs.

La barre est alors composée de plusieurs tronçons qu'il s'agit de réunir avec une tension suffisante.

131. — On pourra, par exemple, renforcer l'extrémité de chaque tronçon en y ménageant un talon crochetant sur le talon du tronçon suivant.

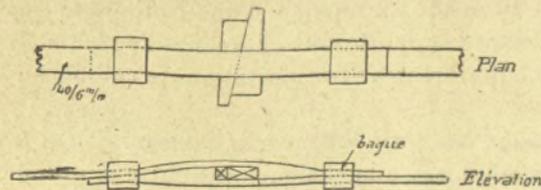


Fig. 28. — Serrage de chaînes à talons par doubles coins.

Entre les deux talons voisins, il existe un vide dans lequel on

chasse des coins jumelés qui serrent peu à peu au fur et à mesure qu'on les enfonce.

Cela suppose que les deux barres sont en outre réunies par des brides de part et d'autre du joint formé par les clefs.

132. Écrou à lanterne. — On peut également terminer chaque tronçon par une tige ronde filetée, soudée sur la partie en fer plat. Les deux bouts filetés, en regard, sont réunis par un *écrou à lanterne*, taraudé en sens contraire dans les deux masses terminales, de manière à ce qu'un même mouvement de rotation, suivant le sens, visse ou dévisse à la fois sur les deux tiges filetées.

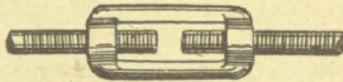


Fig. 29. — Lanterne de serrage.

133. Chainages des coupoles. — La question du chaînage se pose également dans quelques cas spéciaux.

a) Si, par exemple, n'ayant pas prévu de chaînage pendant la construction, on s'aperçoit que le bâtiment donne des signes de fatigue ou se lézarde : on devra dès lors l'entourer de ceintures placées à l'extérieur, logées dans une feuillure et recouvertes d'enduit.

b) Une ceinture sera également à peu près nécessaire au pied d'une coupole reposant sur un tambour.

La poussée d'une coupole, en effet, obligerait à donner au mur de ce tambour une épaisseur assez considérable, que l'on peut éviter si l'on place au pourtour de la calotte une solide ceinture qui, à elle seule, suffit à équilibrer cette poussée.

Le cas est le même si, au lieu d'une coupole en maçonnerie, le tambour circulaire supporte une charpente de rotonde exerçant une poussée non équilibrée par l'organisation du comble lui-même.

134. Chainage des murs soumis à la chaleur. — On frette aussi les maçonneries soumises à la chaleur, qui ont une grande tendance à se crevasser par suite des alternatives de température. Ce sera le cas des massifs inférieurs des grandes cheminées ou des fours de diverses natures.

Dans les cheminées, le chaînage en fer méplat se place de champ dans l'épaisseur de la paroi et à chaque changement d'épaisseur. Ce sont de véritables frettes qui s'opposent aux fissures et crevasses.

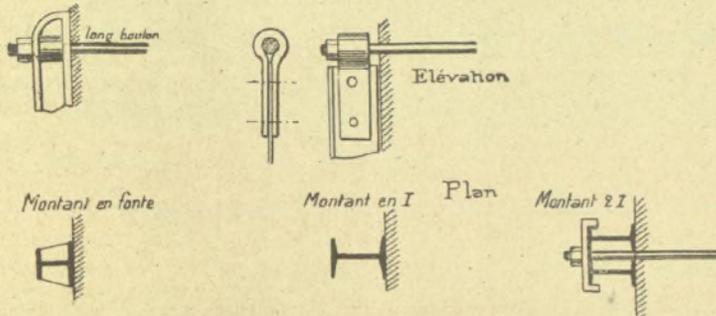


Fig. 30. — Chaînage des maçonneries chauffées.

On les compose de plusieurs segments pliés à l'équerre en leurs extrémités. Les retours d'équerre contigus sont serrés par un boulon.

135. — Dans les massifs entourant un four, on a recours à des armatures composées de montants en fonte ou en fers profilés, appliqués contre les parois extérieures opposées.

Pour que la dilatation des fers eux-mêmes ne donne pas des tensions excessives qui pourraient provoquer la dislocation des maçonneries, il est bon d'interposer des pièces élastiques dont nos figures indiquent des exemples.

CHAPITRE VI

PETITE CHARPENTE ET MENUISERIE

§ 1. GÉNÉRALITÉS SUR LES PLANCHERS D'USINE. — Travures, hourdis, aires, planchers en béton armé.

§ 2. PANS DE BOIS ET DE FER. — L'emploi des ossatures en bois, organisation des grands châssis en bois. — Pans de fer. — Influence du vent sur les pans verticaux. — Assemblages des ossatures en fers à Γ . — Ossatures d'usine.

§ 3. CHÂSSIS VITRÉS EN BOIS OU EN FER.

§ 1. — GÉNÉRALITÉS SUR LES PLANCHERS D'USINE

436. — La petite charpente et la menuiserie comprennent les applications du bois et du fer aux travures de planchers, aux lambris, aux pans de bois et aux pans de fer, aux portes et aux châssis vitrés.

Les *planchers* servent à diviser un bâtiment en plusieurs étages, dans sa hauteur; mais ils ont, en outre, l'avantage d'entretoiser et solidariser les murs, ce qui permet de donner à ces derniers des épaisseurs relativement réduites.

Cette considération est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de bâtiments industriels très élevés, constitués notamment par une ossature générale en fer, avec laquelle il importe que les travures de planchers soient solidement reliées.

La *charge d'un plancher* comprend : la surcharge qui dépend de la destination, et le poids mort qui augmente un peu avec la surcharge.

Dans une habitation, les chambres à coucher par exemple seront moins chargées que les salons de réception où l'on danse. Dans les magasins ou les locaux industriels, il faut tenir compte de la nature des matières emmagasinées, des machines-outils ou des

pièces usinées, pour lesquelles il n'est pas possible de donner des indications précises.

On pourra prendre :

	Charge utile.	Poids mort.	Charge totale.
Locaux d'habitation	400	200 à 250	300 à 350 kg. par m ² .
Salons	} 200	250	450
Salles d'hôpitaux			
Grande salle de réception . . .	250	300	550

Le poids du grain en tas de 0,80 m. de haut varie de 500 à 700 kg. par m². Le poids mort devrait être pris de 330 à 350 kg.

Les poids morts indiqués ne seraient pas toujours suffisants pour les planchers en béton armé qu'il faudrait compter à raison de 2500 kg. le m².

137. Travure. — Les caves, comme nous l'avons vu, sont souvent couvertes au moyen de voûtes arasées horizontalement, de manière à soutenir directement le dallage ou le plancher. Leur masse contribue à éteindre les trépidations et les vibrations causées par le mouvement des machines.

Mais les planchers d'étage, au contraire, sont le plus souvent constitués par des travures composées de *solives* en bois ou de poutrelles en métal (fer ou acier) supportant l'aire proprement dite.

138. Travures en bois. — En ce qui concerne les travures en bois, nous insisterons sur la nécessité d'employer exclusivement, pour le solivage, des bois du commerce que l'on est sûr de trouver toujours en approvisionnement et qui coûtent moins cher que les bois de sciage.

Les bois courants sont : le *madrier* 22 × 8 cm. et la poutrelle 20 × 14 cm. Nous ferons remarquer d'ailleurs que, chaque fois que cela sera possible, on devra préférer le madrier comme plus économique; la charge portante d'une pièce dépend en effet de son module d'inertie $\frac{bh^2}{6}$ où la hauteur entre au carré. Il est donc évident qu'à section égale, la pièce la plus haute porte davantage que la pièce la plus basse.

Une travure en madriers comportera donc un cube de bois inférieur à une travure en poutrelles, pour le même plancher.

Si q est la charge totale par m², x l'écartement des solives, l leur portée, R la charge de sécurité du bois, l'équation d'équilibre entre le moment résistant (ou élastique) et le moment fléchissant sera :

$$\frac{Rbh^2}{6} = \frac{1}{8}ql^2x.$$

Il sera donc facile de déterminer l'écartement pour l'équarrissage qu'on a choisi.

Cet écartement varie de 35 à 60 cm.

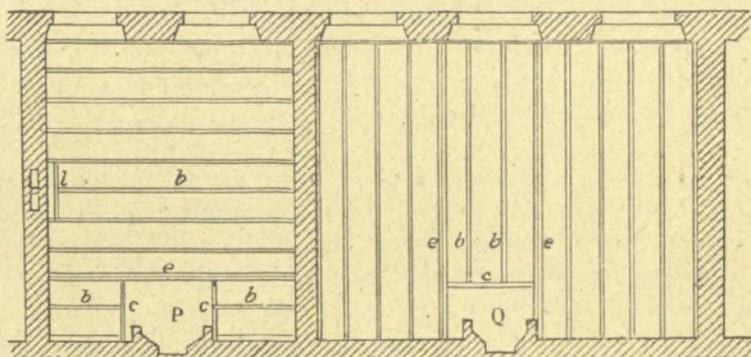


Fig. 31. — Travure en bois.

La portée des solives en bois ne doit pas dépasser 4 m. ou 5 m. à la rigueur.

Au delà on sera conduit à faire une *travure composée*, c'est-à-dire constituée au moyen de solives placées sur des poutres; celles-ci seront espacées de 3 à 4 m.

Si E est leur écartement, la charge par mètre courant sera $p = qE$, et l'équation d'équarrissage s'écrira encore

$$\frac{Rbh^2}{6} = \frac{1}{8}pl^2.$$

Mais ici, l'on a deux inconnues b et h . Pour que la pièce ne tende pas à se déverser, la hauteur ne doit pas être trop grande par rapport à la largeur, on pourra prendre :

$$\frac{h}{b} = 1,40 \text{ à } 1,50.$$

Quelque fois l'on va jusqu'à $\frac{h}{b} = 2$, lorsque les solives, assemblées sur les flancs de la poutre, la contreventent et s'opposent au déversement. Au point de vue de l'économie de bois, du reste, ce que nous avons dit ci-dessus indique que l'on aurait intérêt à prendre le rapport des dimensions aussi grand que possible.

139. Enchevêtrures. — On appelle *enchevêtrure* un système de pièces qui encadrent un vide dans le plancher.

Une enchevêtrure sera nécessaire pour ménager le passage d'un escalier; mais c'est surtout au voisinage des foyers ouverts ou même des gaines de cheminée qu'il y a lieu d'envisager ce genre d'ouvrage, le vide devant être garni d'ailleurs d'un hourdis incombustible.

On admet que les gros bois (solives) doivent être au moins à 16 cm. de la face intérieure d'une gaine où circulent des gaz chauds. La paroi d'une gaine n'ayant pas plus de 8 cm., on voit qu'il faut ménager 8 cm. de vide entre le parement intérieur du mur et les pièces de bois. On mettra donc parallèlement au mur et à 8 cm. une pièce de bois qui prend le nom de chevêtre et qui servira d'appui aux solives interrompues ou solives boiteuses.

Devant une cheminée à foyer ouvert où les risques d'incendie sont aggravés parce que des braises incandescentes peuvent rouler, on élargit la surface incombustible en plaçant une plaque de marbre de 34 cm. de large en avant des jambages, et l'enchevêtrure encadre l'âtre et cette plaque foyère, délimitant ainsi ce qu'on appelle la *trémie*.

Dans l'enchevêtrure on distingue : les solives interrompues ou *solives boiteuses*; le *chevêtre* qui leur sert d'appui; la *solive d'enchevêtrure* sur laquelle le chevêtre porte en lui imposant une charge supplémentaire massive.

La solive d'enchevêtrure devra donc être calculée pour le moment fléchissant qui résulte :

1° De la même charge courante uniformément répartie que pour les autres solives ;

2° De la charge massive transmise par chacun des chevêtres qui y prennent appui.

Pour qu'il n'y ait pas de saillie en dessous du plafond, il conviendra que toutes ces pièces aient la même hauteur.

La trémie reçoit une *paillasse* formée par une ou deux entretoises en fer carré de 20 à 30 mm. crochetées sur les pièces de bois, coudées et contre-coudées de manière à venir araser la face inférieure. Sur les entretoises on place orthogonalement des fers carrés de 10 à 12 mm. écartés de 12 à 15 cm., qu'on appelle des *fentons* ou des *carrillons*; si l'entretoise aboutit à un mur elle y sera scellée.

Le grillage ainsi formé peut alors soutenir un remplissage en plâtras et le plafond par-dessous.

140. a) Travures en fer. — Dans les travures en fer (ou en acier, bien entendu) les solives sont des fers à double T et l'on fera bien de n'y employer que des profils normaux PN indiqués sur les albums de forge. On aura également soin de ne jamais prendre les *profils renforcés* où les épaisseurs sont en effet renforcées, mais qui pèsent plus et portent moins que le profil immédiatement supérieur et d'épaisseur courante. Ainsi :

épaisseur courante PN	180 × 82 × 6,9,	pois 21, 90 kg.	$\frac{1}{V} 10^6 = 162,227,$
— renforcée	180 × 87 × 11,9	— 23,10	$\frac{1}{V} 10^6 = 189,227,$
— courante	200 × 90 × 7	— 26,20	$\frac{1}{V} 10^6 = 216,454.$

De même, il convient d'éviter les profils exceptionnels 150 et 175 mm. qui ne se trouvent pas toujours dans le commerce. Les profils réguliers sont ceux dont la hauteur compte un nombre pair de centimètres, de 80 à 240 mm.

Au delà de 240 mm. les profils indiqués par les albums sont peu courants. Il est préférable alors de faire une poutre composée en cornières, âme pleine ou en treillis.

b) Les *portées* d'une travure en fer peuvent atteindre 6 à 7 m.; l'*écartement* est également plus grand que pour les solives en bois. Il varie, suivant la nature des hourdis placés entre les poutrelles, de 0,75 à 1,20 m.

On a toujours intérêt au point de vue de l'économie et du poids de métal, à adopter un grand écartement. Il en résultera évidemment que, la charge étant plus grande, le profil sera plus haut; mais, pour les mêmes raisons que pour la solive en bois, la hauteur inter-

venant au carré dans le module d'inertie, c'est dire qu'au kilogramme les fers les plus hauts portent le plus proportionnellement.

141. Les hourdis. — La travure, dans son épaisseur entre l'aire supérieure du plancher et le plafond, reçoit un hourdis qui a deux buts : 1° il contrevente les solives, et 2° il rend le plancher plus sourd.

Ce hourdis peut être laissé apparent, et c'est souvent à ce parti qu'on s'arrêtera lorsqu'il s'agit de locaux industriels.

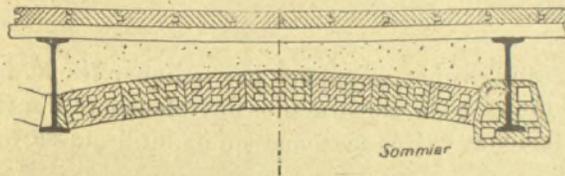


Fig. 32.

a) Il suffit alors de jeter, entre les fers et la travure, des voûtains en briques creuses, ou de faire un remplissage en béton de mâchefer dont le poids n'est pas excessif. Ce dernier procédé a l'avantage d'être peu coûteux, surtout lorsqu'on est à proximité d'usines métallurgiques dont les mâchefers constituent des déchets de fabrication.

Il est bon de ne pas écarter alors les poutrelles à plus de 0,80 m.

Malgré la légèreté spécifique du béton de mâchefer, on ne devrait guère l'employer en hourdis plein sur des épaisseurs dépassant 10 cm. Au delà, on peut, il est vrai, ménager des trous cylindriques, en coulant le béton autour de mandrins en bois ou en tôle que l'on retire au fur et à mesure ; mais on perd ainsi l'avantage principal de ce genre de hourdis, qui est la facilité et la simplicité de la construction.

Le béton de mâchefer est fabriqué avec de la chaux hydraulique à raison de 200 kg. par m³. Par suite de la lenteur de la prise, il ne faut pas enlever le faux-plancher qui a servi à couler le béton avant un mois de date, et encore convient-il, à ce moment, de ne pas surcharger le hourdis immédiatement.

On pourrait également se servir de plâtre qui présente l'avantage

d'une prise instantanée; mais le béton offre alors moins de résistance à la charge. Il faudrait soutenir par une paillasse.

Le hourdis en béton permet d'établir directement un dallage en ciment. Toutefois, la résistance n'est pas très grande si l'écartement est considérable, et ce mode de construction se prête mal à l'exécution de planchers destinés à supporter de lourdes charges isolées, telles que des machines qui, s'appuyant, non pas sur les poutrelles, mais sur un panneau de béton, seraient susceptibles de crever celui-ci par poinçonnement.

Dans ce cas, il conviendrait d'armer le béton au moyen de fers transversaux.

142. — Nous avons commencé par indiquer les hourdis qui se prêtent le mieux à la construction des planchers d'usine, mais il en existe plusieurs autres systèmes qu'on utilisera surtout dans le bâtiment.

b) Augets de plâtre. — Entre des solives en bois, toujours très rapprochées, après avoir cloué les lattes du plafond, on peut placer au-dessus des plâtras liés par un peu de plâtre frais; on relève sur les flancs des solives, pour les contreventer. Ce dispositif s'appelle un auget.

Sur des solives en fer, dont l'écartement est plus grand, on commence par constituer une paillasse, au moyen d'entretoises espacées de 0,80 m. ou 1 m., en fer carré, crochetées sur la table supérieure du T, coudées et contre-coudées pour venir s'appuyer dans l'angle rentrant de l'aile inférieure. Les entretoises servent de supports à des fentons ou carrillons espacés de 10 à 12 cm.

Enfin, sur cette paillasse, on établit l'auget de plâtre.

c) Hourdis en terre cuite. — Les augets de plâtre sont lourds. On obtient un résultat beaucoup plus satisfaisant en employant des hourdis en poterie creuse.

Entre des solives en bois, l'élément de poterie creuse a la largeur du vide et s'appuie sur deux liteaux cloués eux-mêmes sur les flancs de la solive (hourdis Laporte). La face inférieure descendant un peu plus bas que celle-ci est striée et il suffit d'une très mince couche de plâtre pour faire le plafond.

Comme le plâtre prend mal sur le bois, on enfonce dans la solive des clous à bateau dont la large tête accroche le plâtre.

Dans les planchers en fer, on emploie deux genres de poteries : les unes (hourdis Perrière) sont percées de canaux transversaux et se posent sur les ailes des deux poutrelles. La longueur de ces poteries ne permet pas de donner aux solives un écartement supérieur à 0,75 m. et c'est bien faible.

Les hourdis à canaux longitudinaux au contraire (type Laporte),

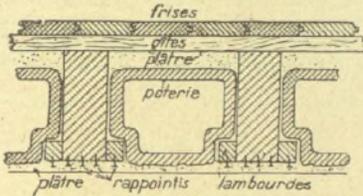


Fig. 33.

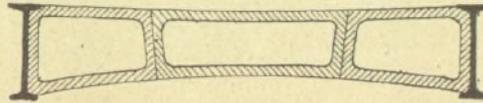


Fig. 34.

sont généralement formés de trois clavaux appareillés en plate-bande ; ils se prêtent à de grands écartements.

d) Les hourdis en poterie peuvent être arasés au niveau des tables supérieures des T par un béton maigre de mâchefer.

Pour rendre un plancher parfaitement sourd, il convient de compléter le système en coulant sur le hourdis une couche d'asphalte ou du liège en grains aggloméré à l'oxychlorure de magnésie.

143. a) Aires des planchers d'usine. — C'est surtout pour la constitution de l'aire proprement dite du plancher qu'un choix judicieux des matériaux les mieux appropriés s'impose, lorsqu'il s'agit de locaux industriels où se trouvent des machines et où doivent se pratiquer souvent des transports et des roulages de fardeaux relativement lourds.

Dans ce dernier cas, on emploie fréquemment un pavage en bois de sapin ou de chêne, posé sur béton, avec une couche intermédiaire de scories. On protégera le bois contre la pourriture par le créosotage, ou par une injection de sulfate de cuivre, ou enfin en interposant une couche de goudron sous les pavés.

b) On peut également se servir de blocs de cèdre, posés à joints de sable. Enfin, on se contente souvent de superposer deux planchers de 34 mm. dans deux sens perpendiculaires sur du béton revêtu de goudron.

c) Si la surface du plancher doit être exposée à l'humidité, il faut renoncer au bois et recourir à du béton ou à de l'asphalte.

Dans le cas du béton, on doit constituer la surface par du béton dur (formé de débris de pierre dure et de sable granitique ou porphyrique), avec un enduit de 3 cm. bien serré à la truelle, badiageonné d'un mélange d'huile de lin et de térébenthine ou de naphthaline.

Le béton a l'inconvénient d'être peu élastique et par conséquent dur à la circulation; il est, en outre, assez bon conducteur de la chaleur et peut se briser ou se fendiller sous les chocs. Il est nécessaire, si l'on veut avoir une aire suffisamment élastique, de la recouvrir de bois ou d'asphalte.

d) D'autre part, dans les locaux maintenus à haute température, il faut se défier de l'asphalte qui se ramollit. Ainsi ce mode de revêtement convient mal dans les buanderies, où l'atmosphère est constamment saturée de vapeur dont la condensation maintient, à la surface, de l'eau très chaude; la lessive attaque d'ailleurs l'asphalte à la longue.

e) A signaler certains pavages artificiels spéciaux, mélange d'asphalte et de calcaire posé sur du béton.

Dans les ateliers de fonderie, on emploie également des briques de schiste bitumineux qui ont subi une cuisson énergique; des plaques métalliques donnent dans certains cas de bons résultats.

144. Planchers d'habitation. — Le parquet le plus habituel est en frises de 25 mm. d'épaisseur, 10 à 15 cm. de largeur, assemblées à rainure et languette et fixées par des clous sans tête enfoncés dans la rainure, et par suite non apparents.

On ne saurait les clouer directement sur les solives qui se sont généralement déformées en séchant et ne peuvent se dégauchir dans un plan régulier. Dès lors, on commence par clouer sur les solives des *gîtes* ou lambourdes assez minces pour plier facilement, ce qui permet de les dresser en les calant au besoin.

Ces gîtes, sur lesquels seront fixées les lames du parquet, sont à l'écartement de 40 ou 50 cm.

On leur donne une hauteur égale en millimètres à la largeur du vide entre solives, mesurée en centimètres.

145. Planchers en béton armé. — Dans les usines et quelle que soit la nature de l'aire supérieure, on emploie de plus en plus des planchers en béton armé qui présentent de nombreux avantages. Nous consacrerons un chapitre spécial à l'emploi du béton armé dans la construction industrielle, néanmoins il convient de donner ici une indication sommaire en ce qui concerne les planchers.

Un plancher en béton armé est généralement constitué par une dalle renforcée par des nervures inférieures qui jouent à son égard le rôle des solives dans les travures ordinaires.

Ce système pourra être complété, si les dimensions du local le comporte, par des poutres transversales largement espacées; mais ce qui caractérise un plancher de cette sorte, c'est que les divers éléments que nous venons de mentionner forment un tout solidaire et monolithe.

L'épaisseur de la dalle ou hourdis dépend de l'emplacement des nervures. On lui donne au minimum 8 cm. et il convient de rapprocher suffisamment les nervures pour n'avoir pas une dalle de plus de 10 à 12 cm.

Cette dalle est armée de barres d'acier rond placées à 2 cm. de la face inférieure et perpendiculaires aux nervures. L'écartement des barres ne doit pas dépasser 20 cm.

Chaque nervure a pour charge le poids (y compris la surcharge utile) de tout l'intervalle entre axes des deux travées adjacentes. On lui donne une hauteur assez grande pour réduire au minimum la section des armatures longitudinales formées d'un petit nombre de barres rondes situées à 3 ou 4 cm. de la face inférieure.

Des étriers verticaux embrassant les barres longitudinales montent dans toute la masse de béton qu'ils solidarisent à l'armature, et servent à équilibrer les efforts tranchants.

Dans les locaux industriels, le plus souvent, on laisse les nervures apparentes.

Lorsque au contraire on veut avoir un plafond uniformément plan, on peut garnir l'espace entre nervures au moyen de hourdis creux en poterie ou en agglomérés de ciment et gravier ou mâchefer.

Pour couler un tel plancher sur place, il est nécessaire d'établir tout d'abord un coffrage assez compliqué et coûteux.

On peut éviter ce coffrage et l'énorme matériel de bois qu'il comporte par divers procédés.

Le plus simple consiste à préparer à l'avance des hourdis creux moulés par terre et qui, lorsqu'ils ont fait leur prise, sont mis en place sur des étais.

Ces hourdis constituent un véritable coffrage. Ils laissent entre eux des intervalles correspondant à des nervures que l'on remplit de béton, en même temps qu'on coule la dalle supérieure.

Les éléments de hourdis ont 33 ou 50 cm. de long.

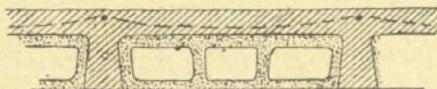


Fig. 35. — Plancher en béton armé.

On peut également constituer tout le plancher par des éléments tubulaires moulés d'avance et qui, placés côte à côte, assurent la continuité de l'aire. Les parois verticales forment en définitive de véritables nervures résistantes.

§ 2. — PANS DE BOIS ET PANS DE FER

146. — Les pans de bois et les pans de fer, par leur caractère de légèreté et leur bon marché, se prêtent évidemment très bien à la construction des ateliers. Le peu d'épaisseur de leur platelage en planches ou de leur remplissage en briques de 11 cm. ne crée sans doute qu'un faible obstacle à la transmission de la chaleur et du froid à travers les parois, ce qui peut empêcher leur emploi pour des locaux d'habitation; mais c'est là un inconvénient d'une importance secondaire pour le genre de bâtiments dont nous nous occupons, où d'ailleurs une grande partie des surfaces extérieures est destinée le plus souvent à recevoir des châssis vitrés.

147. Pans de bois. — La construction de l'ossature d'un pan de bois, même lorsque le bâtiment comporte un étage, est économique si l'on sait éviter les assemblages trop compliqués, en recourant, dans la plus large mesure, aux pièces moisées.

148. Composition d'un pan de bois. — En principe, un pan de bois est ainsi composé : sur une murette de soubassement en

moellons (0,35 ou 0,40 m. d'épaisseur) ou en briques (0,22 m.), on établit à plat une semelle qu'on appelle la *sablière basse* et sur laquelle s'assemblent : les *poteaux corniers* (aux angles); les *poteaux principaux* qui correspondent aux fermes de charpente; les *poteaux d' huisserie* limitant latéralement les ouvertures; et si l'intervalle est trop grand entre les poteaux précédents, on intercale encore des *poteaux de remplage*.

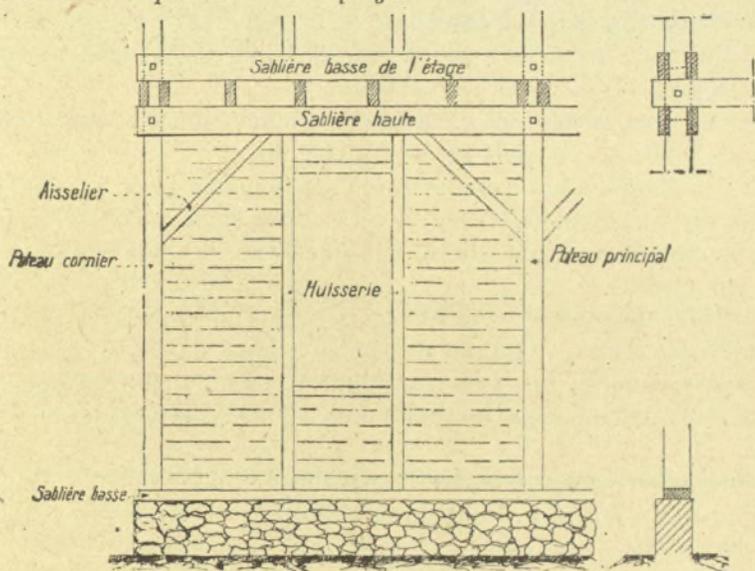


Fig. 36 et 37. — Pans de bois.

Il faut réunir toutes ces pièces verticales, à hauteur du plafond du rez-de-chaussée, au moyen d'une pièce horizontale qu'on appelle la *sablière haute*, et, comme rien n'empêcherait ce système de rouler sous l'action du vent, on dispose encore entre les poteaux des pièces obliques (*écharpes* ou *aisseliers*).

Au-dessus de la *sablière haute*, on place les solives servant à soutenir le plafond et le plancher de l'étage supérieur, s'il en existe; et dans ce cas, on constitue le pan d'étage exactement comme celui du rez-de-chaussée, c'est-à-dire qu'on met une nouvelle *sablière haute*.

Tout le système d'ailleurs se combine avec la charpente que nous étudions plus loin.

149. a) Remplissage ou platelage. — Jadis on clouait, sur chaque face de l'ossature, des lattes qui recevaient un enduit en plâtre. C'est ce que l'on appelait un *colombage*. Toutefois ce procédé n'est pas à recommander, le plâtre se comportant assez mal à l'extérieur, ce qui oblige à le peindre et à entretenir périodiquement cette peinture.

b) Dans les bâtiments les plus simples, les hangars et magasins de chantier par exemple, on se contente de recouvrir la paroi extérieure d'un platelage en planches.

1° Les planches brutes, de 22 cm. de large, sont clouées verticalement avec des lattes en couvre-joints.

2° On peut mettre les planches horizontalement, se recouvrant comme des tuiles; c'est le revêtement à clin.

3° Les planches horizontales sont dans le même plan, assemblées à rainure et languette. Il faut avoir soin de dégager la lèvre inférieure du joint par une gorge, afin que l'eau de pluie n'y pénètre pas par capillarité.

c) Enfin, le plus souvent, dans les locaux industriels, on fait le remplissage au moyen d'une cloison en briques de 14 cm. engagées dans des entailles que l'on a pratiquées sur les flancs du poteau; celui-ci doit donc avoir au minimum 14 cm. de largeur dans ce sens.

Dans ce remplissage entre les poteaux d'huissierie, on ménage les portes, les fenêtres. Enfin de vastes surfaces peuvent être garnies de châssis vitrés dont nous aurons à voir l'organisation.

150. Pans de fer. — Dans les usines, les pans de fer jouent un rôle plus considérable encore que les pans de bois et sont même d'un usage extrêmement fréquent, en particulier pour tous les locaux où la lumière doit pénétrer largement et où l'on veut éviter toute chance d'incendie.

Les principes généraux sont les mêmes que pour les pans de bois; mais les matériaux qui entrent en jeu, les profilés en double T, en ω , les cornières et la tôle offrent des ressources d'assemblages qui se prêtent aux combinaisons les plus variées.

Grâce à leurs qualités de résistance élastique, il devient possible, en outre, de donner à tout l'ensemble une grande rigidité; mais pour réaliser cette condition, lorsque le pan a de vastes dimensions, comme il arrive pour le rideau terminal d'une grande halle de

gare par exemple, il faut traiter tout l'ouvrage comme une véritable charpente, en déterminant les efforts auxquels les différentes pièces sont soumises et en combinant les assemblages pour assurer la solidité et la rigidité de tout le système.

151. — Si nous considérons par exemple le large rideau vitré fermant le pignon d'un hangar mesurant 20 m. de largeur et 20 m. de hauteur, on conçoit que ce ne sont pas les charges statiques qu'il est difficile d'équilibrer, mais que toute l'attention du constructeur doit se porter sur l'effet dynamique du vent qui l'obligera à constituer une première ossature de force, formée de poutres verticales et horizontales de dimensions suffisantes pour résister à cet effort.

Les alvéoles que les pièces de cette première charpente laissent entre elles sont alors assez petites pour qu'on les puisse traiter comme des panneaux ordinaires.

Nous aurons à nous occuper plus loin de cette résistance au vent.

152. Ossatures en fer pour petits bâtiments. — L'ossature comprend une série de pièces verticales et horizontales qu'il s'agit d'assembler.

Dans une construction de petites dimensions, ces pièces sont peu chargées, et il suffira d'y employer des fers à double T.

Les assemblages seront très simples lorsque le bâtiment ne comporte qu'un rez-de-chaussée, la travure de plancher pouvant reposer sur des murettes de soubassement ou sur de petites piles en maçonnerie.

Des fers I de 140 mm. suffiront pour constituer les montants et encastrent les briques de 44 cm. entre les ailes.

Les pièces horizontales, les sablières basses et hautes ainsi que les traverses, seront des T ou des L de même profil, raccordées à ailes grugées, et maintenues par des équerres en cornières.

La figure 38 suffit à indiquer les dispositifs que l'on peut adopter, notamment pour la semelle ou sablière basse a , b ou c ; ce dernier système où le poteau repose directement sur un double T à larges ailes, formant sablière basse, n'est pas à recommander.

On voit également en plan m , n , p , comment peut être organisé le poteau d'angle. Le dispositif p est bien symétrique, deux L sur

la diagonale et une tôle pliée sur les deux bords verticaux formant pan coupé.

Lorsqu'il y a un étage, les charges sont plus grandes et, notam-

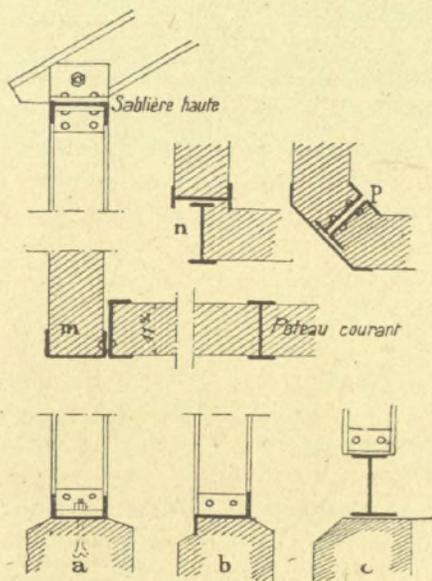


Fig. 38.

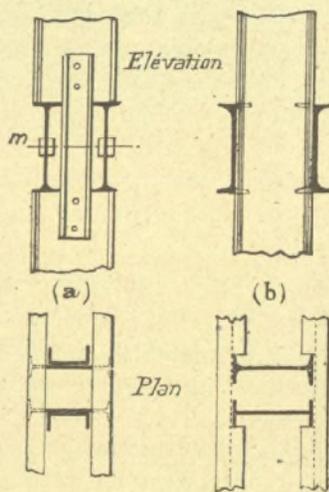


Fig. 39.

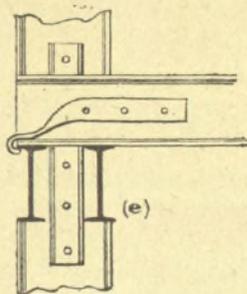


Fig. 40.

ment, l'organisation de l'attache de la poutre du plancher intermédiaire est plus délicate.

Cette attache peut être réalisée par un assemblage par équerres sur une sablière continue, où la poutre peut moiser le montant lui-même.

Les figures 39 et 40 donnent une idée de ces divers dispositifs;

mais on doit remarquer que, dans la figure 39 *a*, où le montant et la sablière sont formés chacun de deux T, le montant est constitué par deux tronçons séparés par la sablière.

C'est un système défectueux, il est tout à fait indispensable que le montant soit continu.

Tous ces assemblages, d'ailleurs, sont loin d'être recommandables ; les ailes d'un fer à T ne sont pas assez larges pour que le rivetage sur l'âme d'un T perpendiculaire au premier donne une solidité suffisante.

Nous ne les indiquons que comme exemples de quelques constructions existantes, mais où tout n'est pas à imiter. Comme on le voit, l'emploi de simples fers à T est économique, mais les assemblages sont difficiles, sauf lorsque les fers ont leurs âmes dans le même plan, parce qu'alors, en grugeant convenablement les ailes, on peut réaliser l'assemblage au moyen de deux fourrures en tôle embrassant à la fois les âmes des deux pièces, avec un nombre de rivets suffisants.

153. Contreventement. — Nous avons indiqué que, dans un pan composé de pièces se coupant à angle droit, l'invariabilité des angles n'est pas complètement assurée. Si, dans les ossatures en fer, les assemblages sont plus rigides que dans les ossatures en bois, il n'en est pas moins nécessaire de placer quelques barres obliques de contreventement.

Pour éviter de tailler en biseau les briques de remplissage, il suffit alors de placer des fers plats en croix de Saint-André, rivés sur la table des montants ou des traverses et par conséquent en dehors de la muraille qui reste ainsi continue. A la croisée des deux diagonales, on place généralement une petite plaque carrée en tôle rivée sur les quatre branches de la croix.

154. Pans de fer pour grands édifices. — Aussitôt qu'il s'agit de construire de grands édifices — et la plupart des usines rentrent dans cette catégorie — l'ossature devient une véritable charpente qui, devant résister à des efforts considérables, doit avoir une solidité complète, aussi bien contre les efforts affectant directement chacune des pièces, en quelque sorte individuellement, que contre ceux qui, en disloquant les assemblages ou en faisant varier les angles, pourraient faire *rouler* la construction et la renverser.

Exemple :

a) Un poteau est soumis à une charge verticale; pour y résister, il est facile de calculer la section nécessaire, même en tenant compte du flambage.

Il est soumis en outre à une poussée du vent qui le fait travailler à la flexion; ce qui oblige à donner à sa section un grand moment d'inertie dans le plan du vent, c'est-à-dire par le travers du bâtiment.

b) Une poutre de plancher d'étage s'appuyant sur le poteau devra

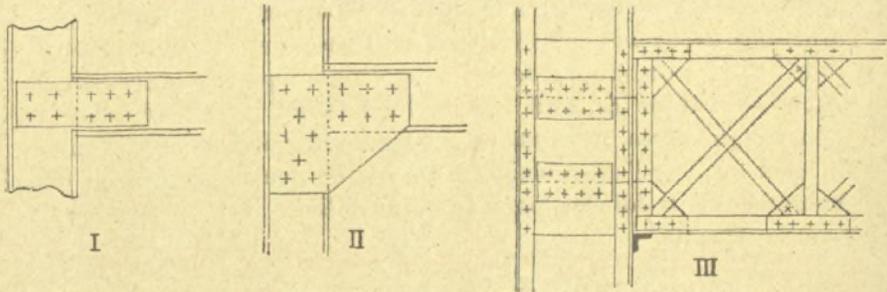


Fig. 41. — Modes d'assemblages d'une poutre sur un poteau.

également résister à la flexion, et il sera facile aussi de calculer sa section stricte pour y résister.

Supposons qu'ainsi considérés isolément, le montant et la poutre aient une résistance suffisante en les constituant par des Γ de 200 mm.

c) Ils sont réunis à angle droit. On peut réaliser cet assemblage en grugeant convenablement les ailes vers l'angle rentrant et en embrassant les âmes entre deux fourrures de tôle de 8 mm. (fig. 41 I); mais examinons ce qui va se passer sous l'effort d'un vent violent. La construction va tendre à se renverser et l'angle d'assemblage s'ouvrira.

1° Nous pouvons essayer de raidir les deux côtés de l'angle qui s'ouvre en allongeant les fourrures dans les deux sens et en leur donnant la forme d'un pan coupé (fig. 41, II), mais l'augmentation de la rigidité dépend des dimensions des fourrures et des longueurs intéressées sur les deux pièces : on ne peut pas aller au delà de toute limite.

En outre, les pièces tendent à se déformer en fléchissant en leur milieu, de sorte que, même si l'angle ne se déforme pas, l'ensemble cède au vent et se déforme.

2° Le remède consiste donc à augmenter les dimensions transversales des deux pièces, et surtout la hauteur de la poutre, dont les deux semelles s'attacheront ainsi en deux points suffisamment éloignés du poteau (fig. 41, III).

On est ainsi conduit à remplacer le simple fer Ξ de 200 mm. qui constituait la poutre, par une pièce en treillis de grande hauteur (60 ou 80 cm. par exemple). Le montant lui-même sera une pièce composée de 240 ou 250 mm. à âme pleine ou en treillis, les ailes formées par des cornières, comme les membrures de la poutre.

Dès lors, au lieu des fourrures de tout à l'heure qui nécessitaient de gruger les ailes des T, nous pourrons constituer l'assemblage au moyen de goussets aussi longs que nous voudrons, traversant tout le montant, intéressant ainsi ses deux membrures.

155. **Le remplissage.** — La largeur du montant dépassant de beaucoup l'épaisseur d'une demi-brique, on limitera le logement de la cloison de remplissage au moyen d'une cornière supplémentaire rivée sur l'âme du montant à une distance convenable des ailes intérieures.

La sablière elle-même, alors même qu'elle n'est pas destinée à supporter des charges verticales très considérables, pourra avoir encore une grande hauteur pour assurer un bon contreventement dans le sens longitudinal.

156. **Piliers tubulaires.** — Enfin, lorsque l'édifice a des étages portant des machines-outils ou du matériel très lourd, on pourra se servir de piliers tubulaires, ayant le même raide dans les deux sens.

157. **Semelle de pilier.** — Le pied d'un pilier doit reposer sur une plaque en tôle épaisse, suffisamment large pour répartir la pression sur le dé ou le massif de béton servant de fondation, auquel cette plaque est fixée par deux longs boulons de scellement.

Pour relier le pilier à la plaque, on commencera par river sur les tables du pilier des fourrures trapézoïdales dont la base large porte

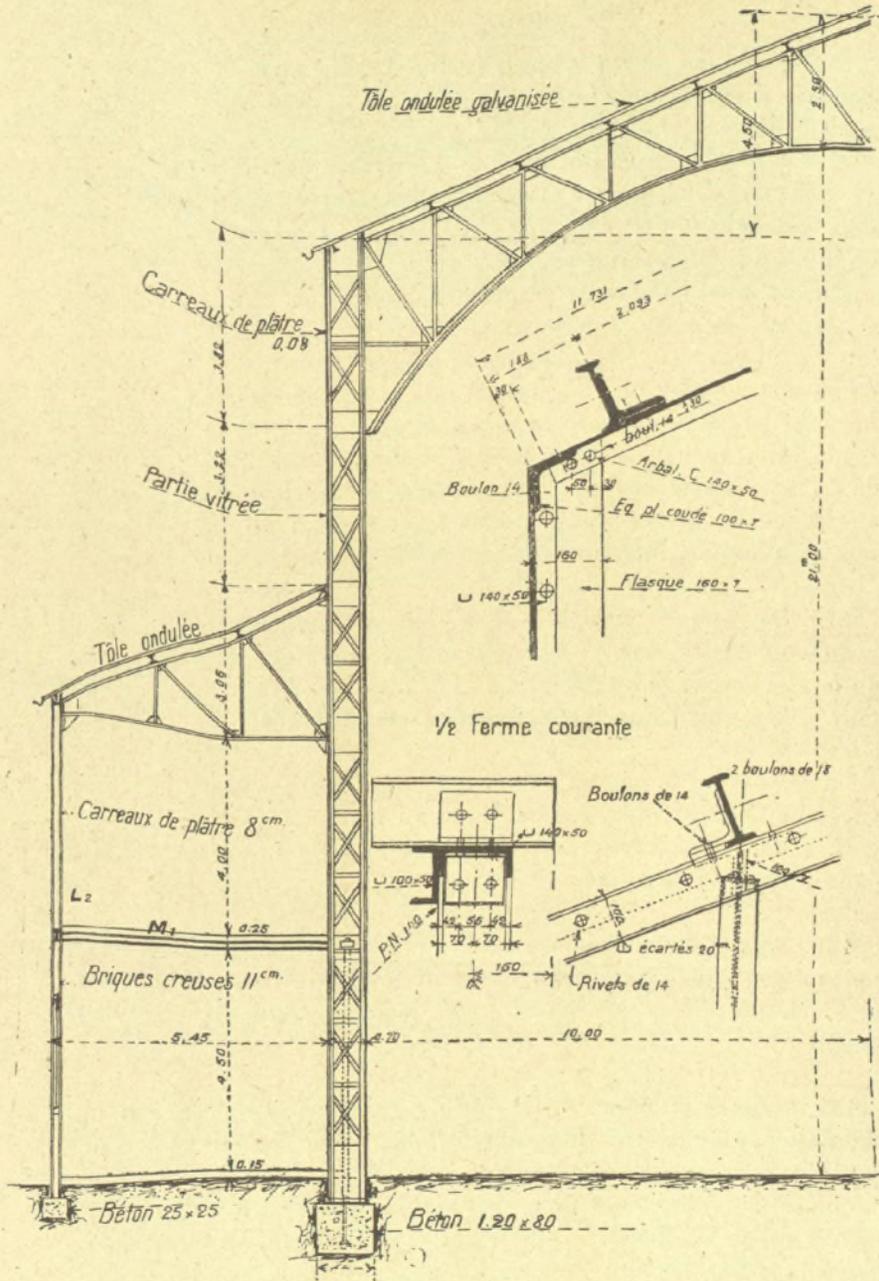


Fig. 42. — Halle à ballons.

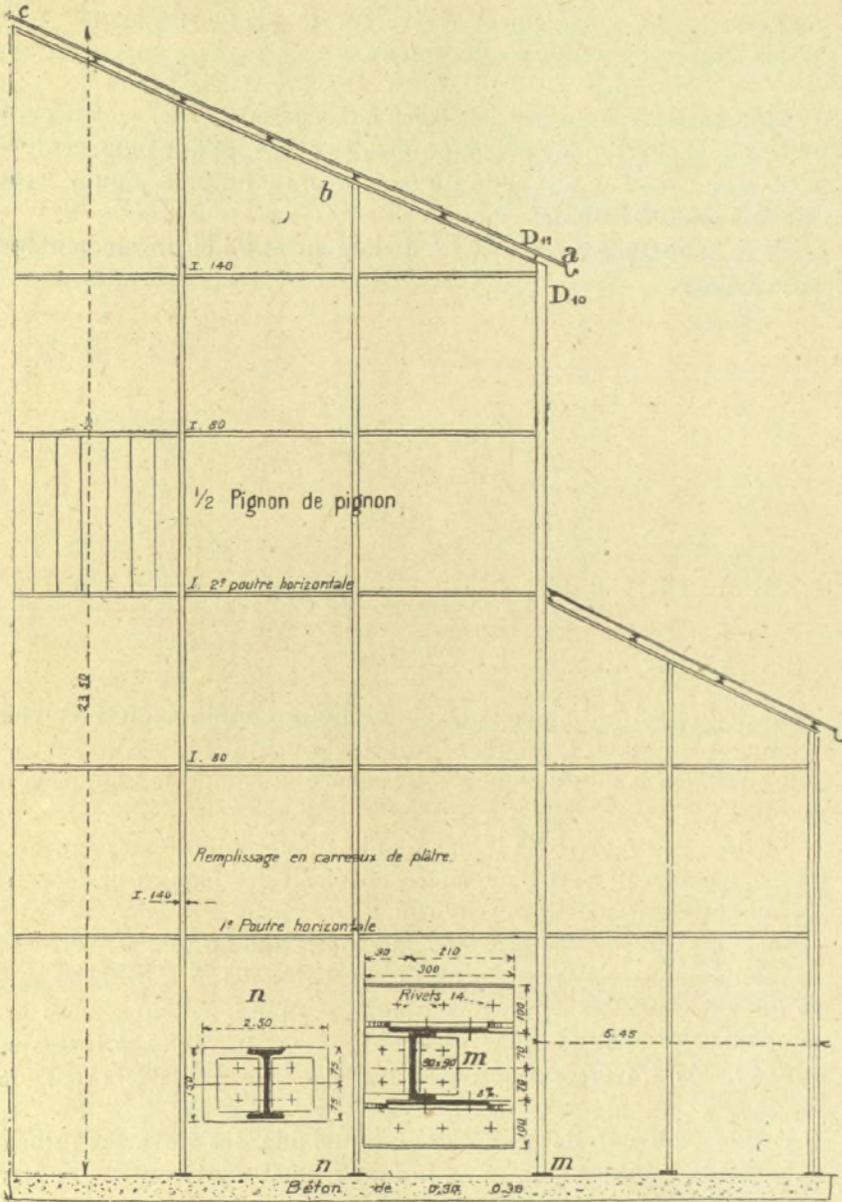


Fig. 43.

sur des cornières également rivées sur la plaque de couche. (les rivets sont à tête fraisée en dessous).

158. Application au pan de pignon d'une grande halle. — On peut voir une application de quelques-uns des principes que nous venons d'exposer dans l'organisation du pan de ferme formant pignon d'un grand hangar à ballon.

La construction mesure 20 m. de largeur et 23,50 m. de hauteur sous faitage.

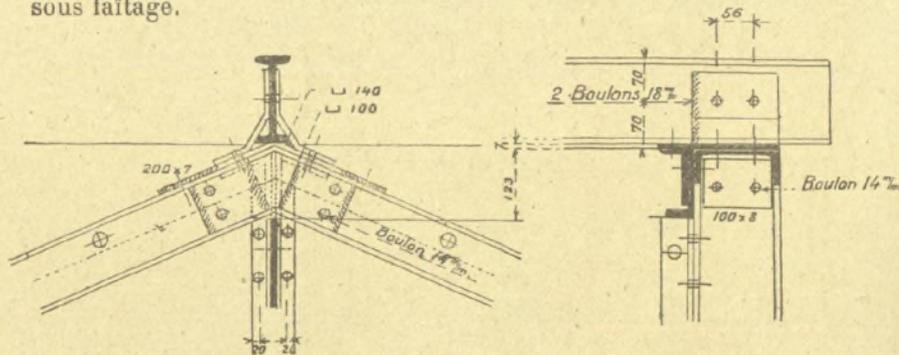


Fig. 44.

La figure 42 en donne une demi-ferme courante où l'on voit comment est établi le montant principal ainsi que l'ossature d'une aile en appentis qui, n'étant pas très chargée, comporte uniquement des fers à T.

La figure 43 représente le pan de pignon décomposé en panneaux par des montants verticaux, placés au droit des pannes de la couverture et espacés de 3 m. environ.

En comptant sur une pression du vent de 150 kg. par m², chacun de ces montants devra supporter par m. courant $150 \times 3 = 450$ kg., ce qui est considérable en raison de la grande longueur : aussi les montants forment-ils quadrillage avec des traverses principales PN 140, les traverses intermédiaires étant de petits fers à T de 80 mm.

Le plus souvent, dans un pignon semblable, les traverses principales sont continues sur toute la longueur et sont constituées par des poutres en treillis de largeur d'âme beaucoup plus grande et couchées à plat. On doit alors les soutenir par des consoles.

Quelquefois les montants et les poutres horizontales sont armés au moyen de quelques biellettes et de tendeurs en fer rond.

§ 3. — PORTES ET CHASSIS EN BOIS ET EN FER

159. a) Portes à barres. — Les portes les plus simples dites à barres sont formées de planches placées verticalement et assemblées à rainure et languette. Cet assemblage est maintenu par deux traverses ou barres encastrées de 10 à 15 mm. dans le panneau. La section de l'entaille est à queue d'aronde.

Pour empêcher la porte de se déformer en donnant du nez, on place une écharpe allant du bout de la barre supérieure à la barre inférieure près de la rotation.

Sur les deux barres, on place les branches plates d'une penture à gond.

b) Portes à cadres. — Les portes d'intérieur de l'appartement sont formées d'un cadre résistant dans lequel s'emboîtent des panneaux plus minces. Le tout peut recevoir des moulures.

Les ferrures comprennent :

1° *Ferrures de renforcement* : des équerres entaillées et vissées dans le bois et qui disparaissent sous la peinture ;

2° Des *ferrures de rotation* : paumelles ou fiches ;

3° Des *ferrures de fermeture* : serrure à pêne ou à double tour ; verrous ou crémone pour vantail dormant des portes à deux vantaux.

160. Locaux industriels. — Dans les magasins, hangars à matériel, etc., qui comportent des portes très larges, les vantaux ouvrant par rotation encombrant l'intérieur des locaux et exercent sur les poteaux de la paroi une traction qui peut en provoquer le renversement.

Il est préférable d'organiser des portes roulantes qui glissent le long du mur. Les galets de roulement sont fixés par une chape en tôle sur la traverse supérieure du panneau en bois ou en tôle qui constitue la porte proprement dite.

Ces galets roulent sur un rail maintenu par des consoles à une distance convenable du linteau.

Pour substituer le frottement de roulement au frottement de glissement et faciliter la manœuvre, la chape porte une rainure horizontale où le tourillon se déplace en roulant, pendant la translation de la porte.

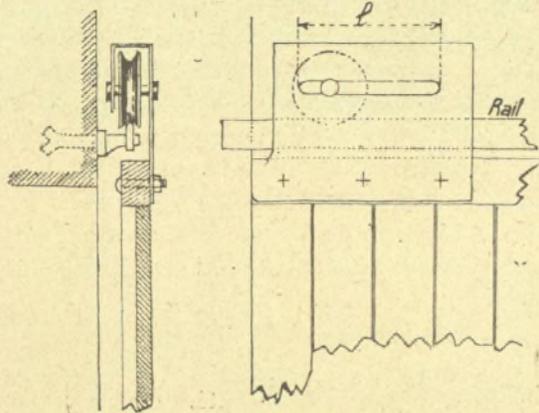


Fig. 45.

161. Baies vitrées. — a) *Croisées des locaux d'habitation.* — Dans une maison destinée à l'habitation, la première qualité d'un châssis vitré c'est d'être étanche, non seulement à l'eau, mais à l'air.

Or, s'il est évidemment possible de fabriquer des croisées en fer suffisamment hermétiques, ce n'est qu'au prix d'un travail de serrurerie très soigné et par suite fort onéreux.

En réalité, le bois est le véritable matériau de ce genre d'ouvrages.

Deux pièces de bois qui s'appuient l'une sur l'autre sont assez flexibles pour que les surfaces en contact se pénètrent pour ainsi dire et donnent ainsi une étanchéité aussi complète que possible, tandis que deux pièces métalliques en contact sont trop dures pour donner le même résultat.

b) *Châssis métalliques.* — On pourra cependant trouver l'occasion d'appliquer la serrurerie métallique pour constituer par exemple des portes vitrées intérieures, lorsque ces portes doivent avoir de très grandes dimensions. En pareil cas, un châssis en bois n'aurait la rigidité nécessaire qu'en lui donnant des équarrissages et un poids considérables. Un bâti métallique fournira une bonne solution du problème et aura l'avantage de donner à tout l'ensemble un aspect plus léger.

c) Dans la construction industrielle, où le souci de l'économie s'impose avant tout, les châssis vitrés métalliques sont d'un emploi courant et justifié. Toutefois, c'est à la condition que leur fabrication n'exige que des dispositifs très simples, en particulier dans les assemblages.

Bien qu'il existe des fers à vitrages spéciaux, imitant d'ailleurs le profil des *petits bois* en bois, on se servira le plus souvent des éléments les moins coûteux, c'est-à-dire des cornières et des petits fers à T dits à vitrage, à angles vifs.

Les assemblages de fers étant coûteux lorsque, par exemple, les faces doivent être arasées, on en réduira le nombre et, dans ce but, on se bornera à tendre, sur le cadre en cornières, des barreaux verticaux.

En principe, la vitre aura donc toute la hauteur du châssis et cette hauteur peut être assez grande. Or on doit remarquer que, dans le commerce, les feuilles de verre mesurent uniformément une surface de 0,45 m². Si donc la hauteur augmente, la largeur diminue. Cette largeur varie de 3 en 3 cm., entre 33 et 66 cm. et voici les dimensions usuelles :

33 × 126 cm.	42 × 108 cm.	51 × 90 cm.	60 × 75 cm.
36 × 120	45 × 102	54 × 87	63 × 72
39 × 114	48 × 96	57 × 81	66 × 69.

On voit qu'en hauteur la lame ne dépasse pas 1,26 m. ; au delà on serait forcé de superposer deux lames. Il est un moyen simple d'assurer l'étanchéité du joint; c'est d'interposer une mince feuille d'étain ou de plomb pliée en \mathcal{N} , les deux lames étant d'ailleurs dans un même plan.

Quant à l'écartement des fers à vitrage, il convient qu'il ne soit pas trop grand, et on le prend souvent plus petit que 33 cm. en coupant des lames de 24 cm. dans des feuilles de 42 cm. par exemple.

162. Pose en tableau. — On simplifie également la pose.

Celle des croisées d'habitation doit toujours se faire en plaçant le cadre dormant dans une feuillure, en arrière du tableau de fenêtre. C'est le seul moyen d'avoir un joint parfaitement hermétique à l'air.

Le même dispositif est recommandable, évidemment, lorsqu'il

s'agit de châssis métalliques, et ce n'est qu'une raison d'économie qui peut justifier de supprimer la feuillure. Il est nécessaire alors de faire un joint particulièrement soigné, au plâtre ou au ciment.

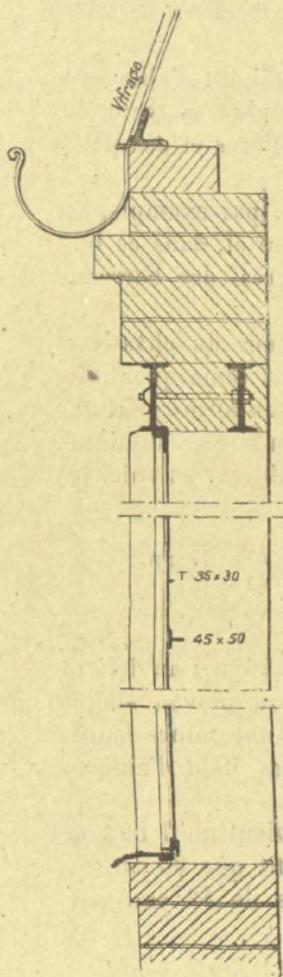


Fig. 46.

La figure 46 donne un exemple en coupe verticale de l'organisation d'un châssis dans une baie sans feuillure ni embrasement. On y remarquera que, la hauteur étant supposée assez grande, on a raidi le cadre et les barres elles-mêmes par une traverse horizontale formée d'un T 60 \times 45, mais cette traverse ne forme pas petit bois, la vitre passe en avant. Les assemblages de la traverse sur les tables des fers à vitrage sont aussi simples que possible.

On remarquera également que la traverse inférieure d'appui porte une pièce spéciale profilée de manière à écarter les eaux.

Souvent les châssis ouvrants sont à bascule équilibrée et pivotent autour d'un axe horizontal.

163. Châssis inclinés. — Les châssis inclinés, en toiture, ou sur le brisis d'un comble à la Mansard, sont constitués de la façon que nous venons de dire, mais les fers tendent à fléchir sous le poids du vitrage et il y aura lieu d'en tenir compte dans le choix du profil.

Pour assurer l'écoulement de l'eau, les feuilles de verre successives ne peuvent pas être dans un même plan, mais se recouvrent de 5 à 6 cm., le bord de la feuille supérieure découpé en arc pour que les filets d'eau soient ramenés vers le milieu des feuilles, plutôt que vers les fers à vitrage qui les bordent.

Il est en effet très difficile d'assurer l'étanchéité du joint dans le cas de châssis peu inclinés, exposés aux intempéries.

On sait que, le verre étant posé en feuillure sur les ailes de

fers 1, on le mastique à l'extérieur. Or le mastic, d'abord assez plastique, durcit et ne suit plus le fer sur lequel il est appliqué, dans ses alternatives de dilatation et de contraction.

Il en résulte un décollement par où l'eau passe aisément.

Pour y remédier, on a proposé de donner au fer un profil spécial où les ailes sont creusées en gorge pour recueillir la petite quantité d'eau qu'on peut prévoir et pour l'écouler sans qu'elle tombe à l'intérieur du local.

164. — En parlant des vitrages inclinés suivant la pente d'un toit, dispositif fréquent dans les grandes halles d'usines, il est bon de faire remarquer que leur surface agit comme une paroi froide où se condense la vapeur d'eau en buée qui finit par ruisseler. Il est nécessaire d'y prêter attention et d'adopter certains dispositifs destinés à arrêter les filets avant qu'il ne tombent dans la salle.

On peut notamment laisser un léger vide (1 ou 2 mm.) entre les deux lames de verre qui se recouvrent. Les gouttes d'eau qui glissent sous la face inclinée tant que la surface est continue, ne s'arrêtent ainsi qu'en atteignant le bord de la vitre supérieure; elles tombent alors, mais sur la vitre inférieure et au dehors.

165. Grands pans vitrés. — Lorsque les châssis vitrés doivent occuper une très grande surface plane, on peut les considérer comme un moyen de garnir les alvéoles d'un pan de bois ou de fer. L'ossature du pan sera donc établie suivant les règles habituelles, comme s'il s'agissait d'un remplissage de toute autre nature.

Autrement dit on aura : d'abord une carcasse parfaitement rigide et capable de résister notamment à la poussée du vent, et en second lieu, dans les mailles de cette carcasse, des châssis qui, n'ayant plus que des dimensions restreintes, seront préparés en éléments de faible échantillon.

La figure 47 donne un exemple d'un pan de bois occupant une surface considérable et fermant la façade d'un établissement industriel.

Toute la partie inférieure sur 4,10 m. de hauteur est hourdée en briques de 11 cm. sur sa plus grande partie. Le pan comporte toutefois une large porte centrale de 3 m. de large et deux grandes baies vitrées de 3 m. \times 3,12 m.

Quant à la partie supérieure formant étage, elle est entièrement occupée par des châssis vitrés en bois.

Ce qui importe, dans un panneau d'aussi grandes dimensions, c'est d'appuyer les châssis vitrés sur une ossature suffisamment rigide. Ici, cette ossature est constituée par les poteaux corniers et d'huissierie, montant de fond. Mais, en outre, les intervalles sont divisés en panneaux d'environ 1 m. de large par des poteaux de

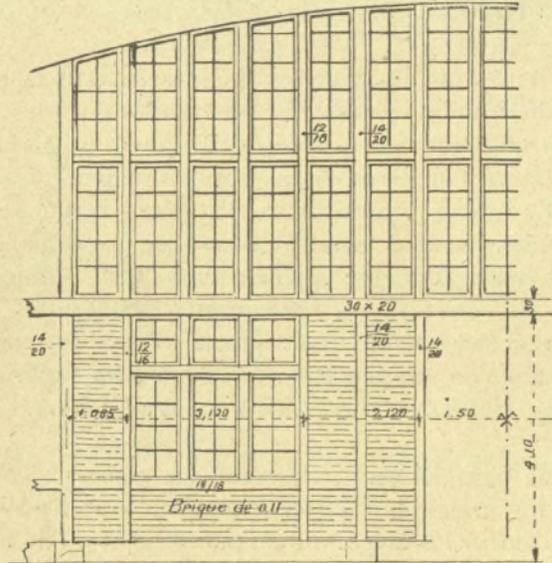


Fig. 47. — Pan de bois vitré.

remplissage (on dit aussi : remplage), formant meneaux et dont les lignes verticales continues contribuent à donner à tout l'ensemble un aspect élancé.

Une traverse les entretoise à peu près à mi-hauteur. Les châssis vitrés sont fixes.

Dans cette construction, les poteaux principaux n'ont pas moins de 20×20 cm., et les poteaux d'huissierie ainsi que les poteaux intermédiaires ont 16×12 cm. La plus grande dimension doit être normale à la façade, pour mieux résister à la flexion que provoque l'action du vent.

Les *petits bois* sont constitués par de petits fers à T vissés sur les cadres en bois.

CHAPITRE VII

CHARPENTES DE COMBLES EN BOIS

§ 1. CONSIDÉRATIONS SUR LES CHARGES QUI ENTRENT EN JEU. — Poids morts. — Effets du vent sur une construction.

§ 2. ÉLÉMENTS D'UN COMBLE.

§ 3. CHARPENTES EN BOIS. — Types divers. — Fermes renforcées pour suspension de palans ou de transmission. — Fermes à grande portée. — Fermes à sous-arbalétriers. — Sheds suspendus. — Petites fermes spéciales.

§ 4. FERMES MIXTES. — POLONCEAU.

§ 1. — CONSIDÉRATIONS SUR LES CHARGES QUI ENTRENT EN JEU DANS LE CALCUL DES CHARPENTES

166. Charges des charpentes de combles. — Dans l'organisation des charpentes, il est nécessaire évidemment de déterminer les efforts auxquels sont soumis les différents éléments qui la composent.

Ces efforts dépendent des charges des matériaux eux-mêmes et des surcharges accidentelles provenant du vent et de la neige.

Les poids permanents comprennent à leur tour : le poids par m^2 de la couverture proprement dite et le poids de la charpente. On a coutume de tenir compte de ce dernier poids, en le répartissant par m^2 de couverture.

Quant à l'action de la neige et du vent, la pratique la plus ancienne qui semble par conséquent sanctionnée par l'expérience, consiste à ajouter encore au poids mort par m^2 de toiture, une surcharge de 45 à 50 kg. quand le bâtiment fait partie d'un pàté de constructions, ce qui permet de le considérer comme abrité, et 60 kg, s'il est au contraire dégagé de tout voisinage.

Ces indications sont résumées dans le tableau suivant :

Poids, par m² de toiture, de la couverture, charpente et surcharges.

NOMENCLATURE	ZINC N° 14 EN FEUILLES	TÔLE ONDULÉE	ARDOISES	TUILES		
				méca- niques.	plates.	creuses.
	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
1° Matériaux de couverture compris lattis et chevrons . . .	20	8	30	50	95	105
2° Poids réparti de la charpente (en bois)	25	25	30	30	30	40
3° Surcharge de neige et vent. . .	50	50	50	50	50	50
Poids total par m ² de toiture suivant la pente	95	83	110	130	175	195

On voit que, dans le cas fréquent d'une couverture en tuiles mécaniques sur une charpente en bois, on pourra compter globalement sur une charge totale de 130 à 135 kg. par m².

167. Action du vent. — Cette manière de tenir compte de la neige et du vent en se contentant d'ajouter une surcharge verticale, d'ailleurs uniformément répartie, est évidemment un procédé empirique qui n'a aucun rapport avec la réalité des faits. Elle donne néanmoins en général aux efforts dans les différents éléments une valeur plutôt supérieure aux efforts réels, ce qui suffit à la sécurité.

Cependant, lorsqu'il s'agit de constructions très importantes, comme les bâtiments industriels en offrent des exemples, il y a lieu de serrer le problème de plus près, et, s'il ne nous est pas possible de traiter le problème en toute sa complexité, il est utile sans doute d'examiner un peu le mode d'action du vent.

Tout d'abord, le vent est sensiblement horizontal. Les règlements administratifs admettent que l'on supposera, pour les calculs, un vent incliné de + 10° sous l'horizon, de telle sorte que, s'il frappe une face inclinée de α sur l'horizon, l'angle d'attaque est $i = \alpha + 10^\circ$.

168. — Cela posé, il résulte des expériences d'aérodynamique, les faits suivants :

a) Sur une surface plane, frappée orthogonalement, le vent détermine une pression normale, proportionnelle à la surface et au carré

de la vitesse. Pour une vitesse de 40 m. à la seconde, ce qui correspond à un ouragan, la pression est d'environ 150 kg. par m², et c'est le chiffre que l'on adopte habituellement dans les calculs.

b) Sur un plan incliné, isolé, mince, frappé sous un angle d'attaque i , le vent détermine une pression normale proportionnelle à $\sin i$, en sorte que, si l'on admet 150 kg. pour la pression sur un plan orthogonal, on aurait pour le plan incliné

$$p = 150 \sin i.$$

Toutefois, cette pression normale ne se répartit pas uniformément sur tout le plan. En considérant une section de plus grande pente et la direction du vent parallèle à cette section, on trouve que le centre de pression varie avec l'angle d'attaque, mais on peut admettre qu'il est aux environs du tiers de la profondeur à partir du bord d'attaque.

c) Enfin si au lieu d'envisager un panneau vertical ou incliné, mais pris isolément, on suppose qu'il fait partie d'un ensemble polygonal, comme le profil d'une maison, la question se complique encore, car les filets d'air, déviés de leur course, créent des remous qui modifient les résultats théoriques.

On voit par conséquent que des expériences peuvent seules fixer à cet égard. Or, ces expériences sont, à l'heure actuelle, peu nombreuses. Cependant, celles effectuées au laboratoire aérodynamique de M. Eiffel, à Auteuil, permettent de pressentir les modalités générales du phénomène.

Elles ont permis de constater, non seulement que les pressions n'ont pas les valeurs théoriques, ni une répartition uniforme, mais que les pans masqués sont le siège de *dépressions*, ou pressions négatives, et qu'ils sont aspirés en quelque sorte.

169. — Nous nous contenterons d'indiquer la répartition sur un bâtiment dont la couverture est plane, et sur un bâtiment à couverture courbe, lorsqu'un vent de 40 m. par seconde le frappe normalement à l'axe. Cette répartition varie beaucoup quand le vent tourne autour de l'axe, d'ailleurs.

Sur le bâtiment à toiture plane, on voit que la face verticale directement frappée reçoit une pression à peu près uniforme de 80 kg. par m².

Sur le pan de toiture directement frappé, la pression normale, assez forte près du bord d'attaque, va en diminuant rapidement, s'éteint avant d'arriver au sommet et prend ensuite une valeur négative. La valeur moyenne est de 20 kg. par m² et la résultante passe à peu près au tiers du pan à partir du bord d'attaque.

170. — Le modèle à toiture courbe qui a servi aux expériences dont les résultats sont consignés sur la figure 48^{bis}, est celui d'un hangar à dirigeables. Les vastes proportions d'une pareille construc-

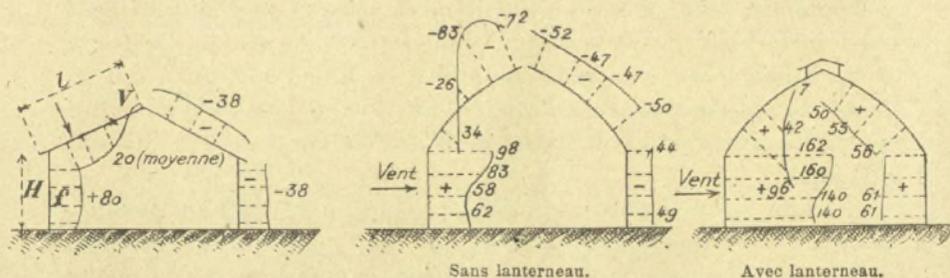


Fig. 48. — Couverture plane.

Sans lanterneau.

Avec lanterneau.

Fig. 48^{bis} et 49. — Hangar frappé à 90° (par le travers).

tion nécessitent de serrer les calculs, et ces résultats y peuvent concourir.

On constate tout d'abord que si l'allure des courbes de répartition reste la même, les valeurs des dépressions varient beaucoup.

Sur la surface courbe directement frappée, le point de pression nulle est très rapproché du bord d'attaque et tout le reste est fortement aspiré.

Mais ce qu'il convient d'examiner avec soin, c'est l'influence de panneaux ouverts le long d'un lanterneau, par où l'intérieur se trouve en communication avec l'atmosphère extérieure, un équilibre de pression tendant ainsi à s'établir.

On en voit le résultat sur le diagramme de la figure 49 : plus de dépression nulle part, mais au contraire des pressions positives sur tout le profil.

171. — Nous n'insisterons pas davantage sur cet important problème; mais à défaut d'expériences assez nombreuses pour qu'on puisse systématiser les résultats et en tirer une loi même approxi-

mative, on pourra, pour les charpentes importantes, se référer aux diagrammes que nous venons d'indiquer pour établir la répartition des forces extérieures.

§ 2. — ÉLÉMENTS D'UN COMBLE

172. — La couverture est composée de matériaux imperméables et l'on devrait ajouter : incombustibles, bien que l'on emploie encore dans certaines régions du chaume ou des bardeaux qui sont des plaquettes de chêne ou de châtaignier fendu.

Ces matériaux, sauf les lames de métal (tôle ou zinc), sont de petites dimensions; on est donc obligé de les poser et de les fixer soit sur un *voligeage* plein ou à claire-voie, soit sur un *lattis*.

173. — En allant de l'extérieur à l'intérieur on rencontre de la sorte une série de pièces de support dont les dimensions transversales vont en croissant. Ce sont :

- a) Les *lattes* ou les *voliges*, posées horizontalement;
- b) Les *chevrons*, disposés suivant la plus grande pente, dont l'équarrissage moyen est de 8×8 cm. et qu'on place à un écartement de 50 cm. Dans ces conditions, ils ne peuvent pas porter sans fléchir sur plus de 2 à 3 m.
- c) Les *pannes*, pièces horizontales qui, servant de support aux chevrons, sont écartées de 2 à 3 m. Elles ont elles-mêmes une longueur pouvant atteindre 4 à 5 m., si elles sont en bois, et 6, 7 ou 8 m. si elles sont en métal.

d) Les *fermes*, pièces composées de plusieurs éléments, mises en travers du bâtiment et portées directement sur les murs ou sur les poteaux qui constituent l'ossature de la construction. Ce sont de véritables poutres armées dont la membrure supérieure (l'arbalétrier) a l'inclinaison générale de la couverture.

§ 3. — DES CHARPENTES EN BOIS

174. — Dans la construction courante pour maisons d'habitation, on aura à faire usage de charpentes en bois. Il en sera de même dans des cas nombreux pour des magasins, des hangars, l'ossature même d'usines.

Sans nous étendre sur les différentes formes qu'on peut donner aux charpentes en bois, nous rappellerons que le principe de leur organisation est de soustraire les divers éléments aux efforts de flexion. Or, la nécessité de ne pas donner aux chevrons des longueurs dépassant 2 à 3 m., oblige, pour peu que la charpente ait une portée considérable, à soutenir ces chevrons eux-mêmes par des *pannes* horizontales dont l'écartement ne dépasse pas cette limite. Si donc l'arbalétrier allait sans soutien de la sablière à la sablière, il serait soumis à des efforts de flexion qui entraîneraient un équarrissage souvent considérable.

C'est ce qui justifie l'intervention d'éléments auxiliaires de soutien : *contre-fiches* étayant obliquement les arbalétriers sur le pied du poinçon; *faux-entrait* horizontal, entretoisant les deux arbalétriers; *jambettes* verticales, reportant une partie de la charge de l'arbalétrier sur l'entrait bas; *jambes de force* étayant l'arbalétrier sur le poteau, s'il y en a un et qui, en outre, a l'avantage de solidariser la ferme et son support vertical.

175. — La figure 50 donne un exemple d'une ferme à contre-fiches et à jambes de force; ces pièces comprimées sont assemblées à tenon et mortaise avec embrèvement. L'épure statigraphique permet de déterminer les efforts de ses différents éléments.

L'entrait, soumis à la traction, est formé de deux moises embrasant le poteau, le pied d'arbalétrier et le pied de poinçon, et boulonnées sur ces pièces.

176. — La figure 51 montre une application fréquente dans des hangars industriels, où l'on gagne de la hauteur au moyen d'un *entrait retroussé* permettant de supprimer l'entrait bas, dont il ne reste plus qu'un tronçon, auquel on donne le nom de *blochet*, destiné à solidariser l'arbalétrier, le poteau et la jambe de force. Dans l'exemple de la figure, le poteau lui-même est interrompu et accolé à un mur.

177. — Assez souvent, lorsqu'il s'agit d'ateliers couvrant une surface très étendue dans les deux sens, on couvre en *sheds*, dont le pan presque vertical est vitré et permet ainsi d'avoir un très bon éclairage.

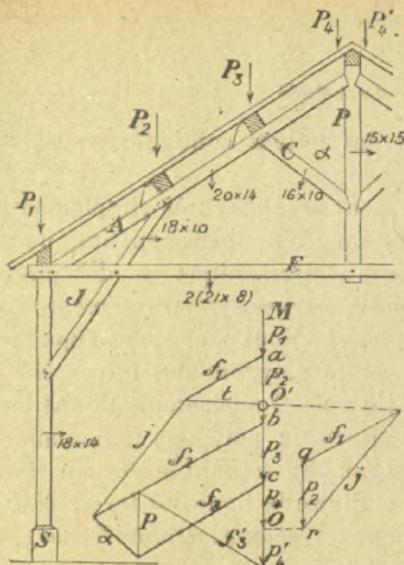
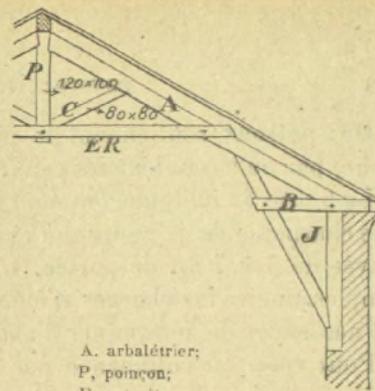


Fig. 50. — Ferme à contre-fiches et jambes de force.



- A. arbalétrier;
- P, pignon;
- E, entrain;
- ER, entrain retroussé;
- C, contre-fiches;
- J, jambes de force;
- B, blochet.

Fig. 51. — Ferme à entrain retroussé; sans entrain.

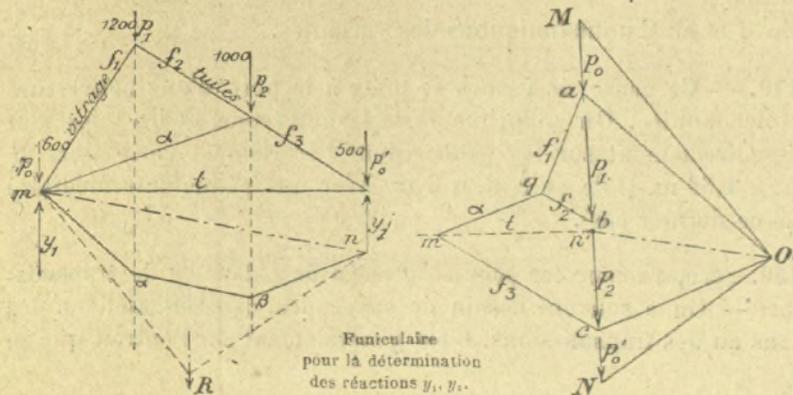
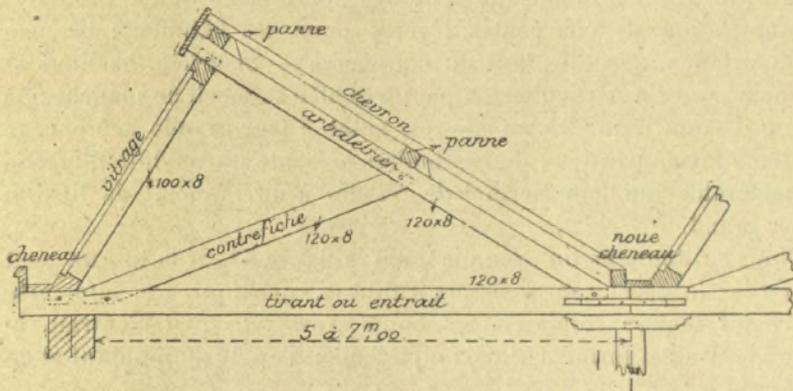


Fig. 52. — Ferme en sheds. — Arbalétriers $f = 1000$; $f_1 = 700$; $f_2 = 1850$; $\alpha = 1000$; $t = 1500$.

Des poteaux soutiennent le pied des fermes contiguës, sous la noue, par où s'écoulent les eaux.

La figure 32 indique comment on peut organiser très simplement une charpente de ce genre, où chaque rangée de sheds constitue une travée de 5 à 7 m. de portée. L'épure statigraphique est des plus simples, mais, les charges n'étant pas réparties symétriquement, il est nécessaire de déterminer d'abord les réactions y_1 et y_2 des appuis.

Pour cela, on commence par tracer le polygone des forces MN (NM étant alors la somme $y_1 + y_2$). Un pôle O quelconque donne le polygone polaire qui servira à construire un polygone funiculaire $m\alpha\beta n$, dont la ligne de fermeture est mn . En menant le vecteur On parallèle à cette ligne de fermeture, n' divise la ligne des forces NM en deux tronçons qui sont précisément les deux réactions $Nn' = y_1$ et $n'M = y_2$.

178. — Les combinaisons sont très nombreuses qui se prêtent à l'organisation de charpentes légères pour des bâtiments de peu d'importance, avec des bois du commerce — madriers, bastings et planches. — En particulier on peut très bien se servir de planches de 34 ou 41 mm. pour les moises, et, grâce à leur grande hauteur, le système formé par deux de ces moises présente un module d'inertie considérable qui leur permet de résister à un moment de flexion assez grand.

Nous en donnons un exemple dans la figure 33. Si la toiture peut déborder la paroi, on abaissera l'entrait; une fourrure intercalée entre les moises solidarise les bouts d'arbalétrier et d'entrait, le triangle A ainsi formé assure complètement l'angle du montant et de la ferme.

En B et en C nous indiquons des variantes.

179. — Ce genre de fermes se prête à la pose d'une couverture en tôle ondulée. On supprime alors les chevrons, et les tôles sont fixées directement sur les pannes dont l'écartement varie alors de 1 m. à 1,50 m. (tôle de 2 m. à 3 m. avec une panne intermédiaire dans ce dernier cas).

180. Fermes renforcées pour suspension de palans ou de transmissions. — On a souvent besoin de suspendre, dans les ateliers, des palans ou des transmissions. C'est généralement sur l'entrait que se

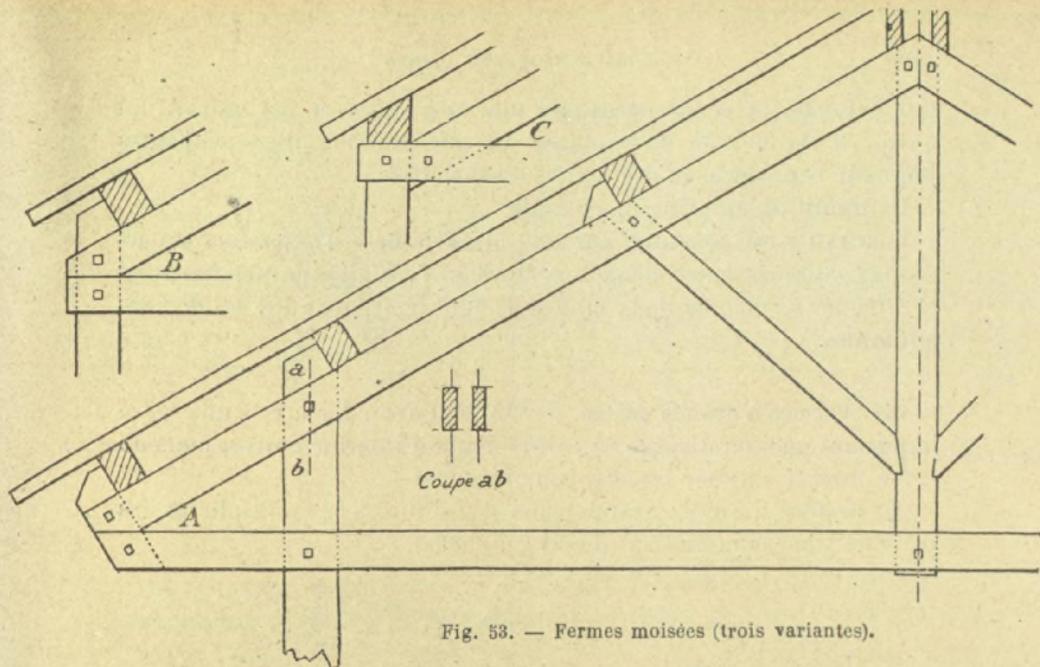


Fig. 53. — Fermes moisées (trois variantes).

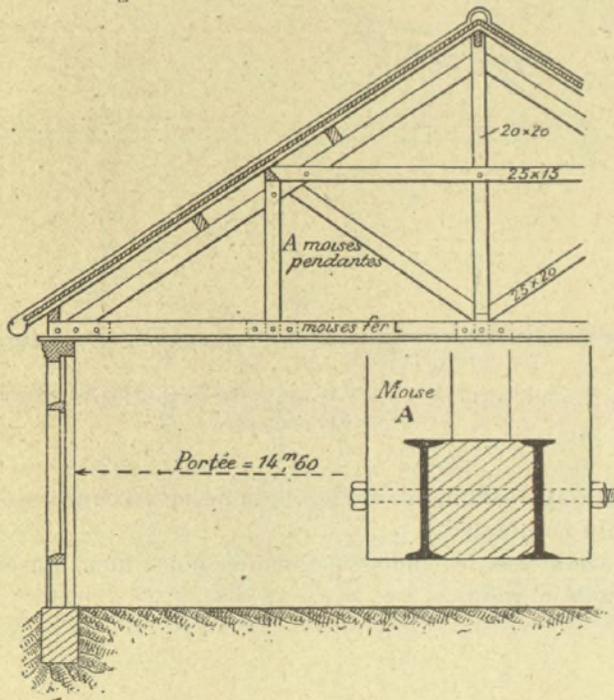


Fig. 54

fait l'attache et il est nécessaire alors de renforcer cet entrait. En outre, il est bon de le soulager au moyen d'aiguilles pendantes joignant l'entrait à un des nœuds d'arbalétrier.

La figure 54 en offre un exemple.

L'entrait y est constitué par une pièce de bois d'assez fort équarrissage compris entre deux fers double T. L'aiguille pendante est elle-même formée de deux moises et tout le système est solidement boulonné.

181. Fermes à grande portée. — On peut avoir à couvrir un espace important où l'on dispose de points d'appui intermédiaires, mais où il y a intérêt à éviter les chéneaux et noues.

On préfère alors de grands pans de toiture à la multiplicité des pans de travées moindres (docks ou sheds).

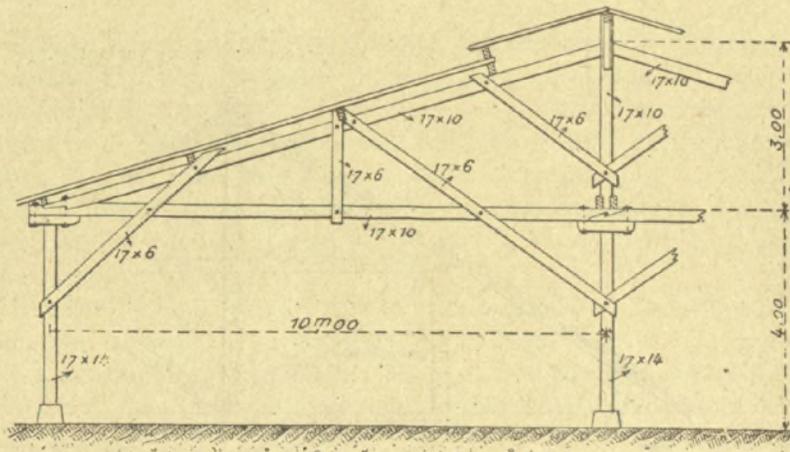


Fig. 53. — Ferme légère de 20 m. de portée avec appui au milieu.

Échelle 0,01 par mètre.

Dans l'exemple des figures 55 et 56, la ferme est composée de bois de sciage du commerce.

Les contre-fiches, les moises pendantes constituent un ensemble bien triangulé et rigide.

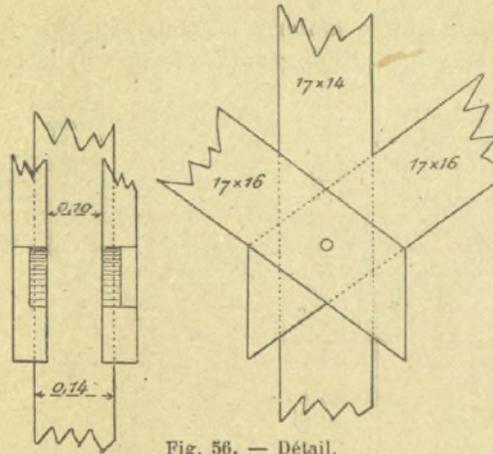


Fig. 56. — Détail.

182. Combles de rotondes. — La figure 57 donne la disposition schématique d'une vaste charpente en rotonde, pouvant servir de

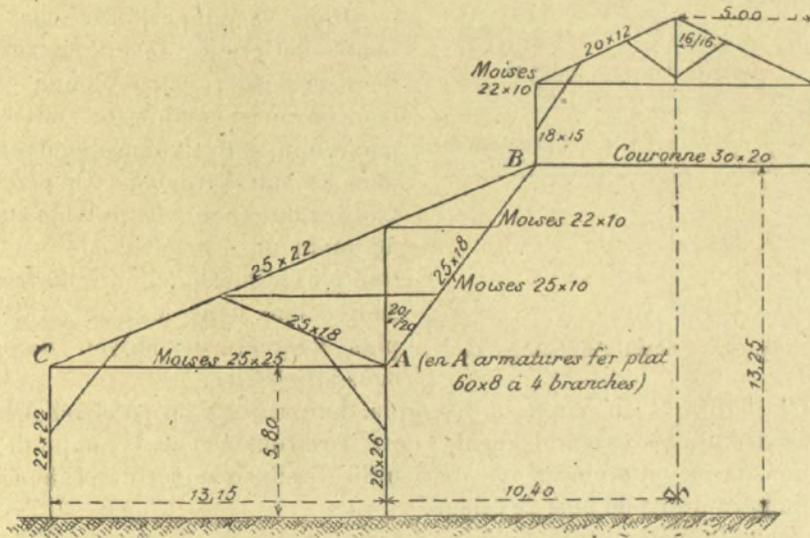


Fig. 57. — Ferme de grande rotonde.

remise à locomotives, sur plan polygonal à 16 pans. La salle centrale mesure 20,80 m. de diamètre; l'anneau qui l'entoure a 13,15 m. de large.

On remarquera que la lanterne centrale est portée en encorbellement sur des consoles prolongeant les fermes de la couronne.

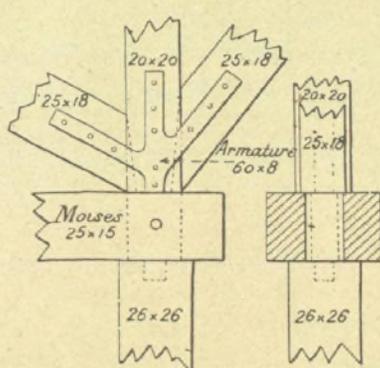


Fig. 58. — Détail d'assemblage A.

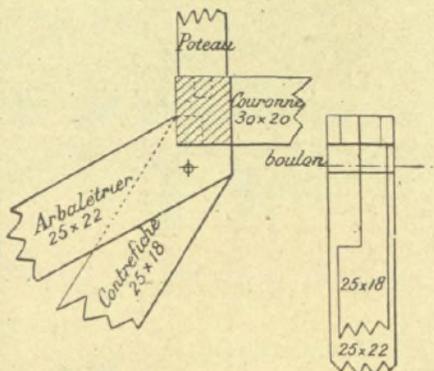


Fig. 59. — Détail d'assemblage B.

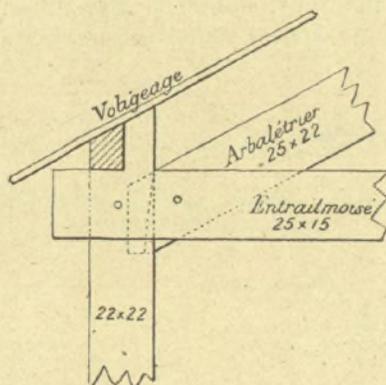


Fig. 60. — Détail d'assemblage C.

183. Fermes à sous-arbalétriers. — Dans la plupart des charpentes de fermes, l'équarrissage de l'arbalétrier calculé pour le tronçon où se manifeste l'effort maximum, se trouve surabondant dans les autres tronçons. On peut réaliser une économie notable en adoptant un arbalétrier de section plus faible, que l'on renforce simplement dans le tronçon le plus fatigué, au moyen d'un sous-arbalétrier.

La figure 61 en donne un exemple. La présence du sous-arbalétrier facilite les assemblages de l'entrait retroussé et de la jambe de force. Dans cette charpente, on a utilisé exclusivement des échantillons courants de bois de sciage.

Dans le même ordre d'idées, on trouvera une application justifiée des sous-arbalétriers successifs dans la ferme de 20 m. de portée (imitée de l'ancien manège de Moscou) représentée figure 62.

On remarquera, dans ces exemples, la manière dont ont été faites les entures des entrails.

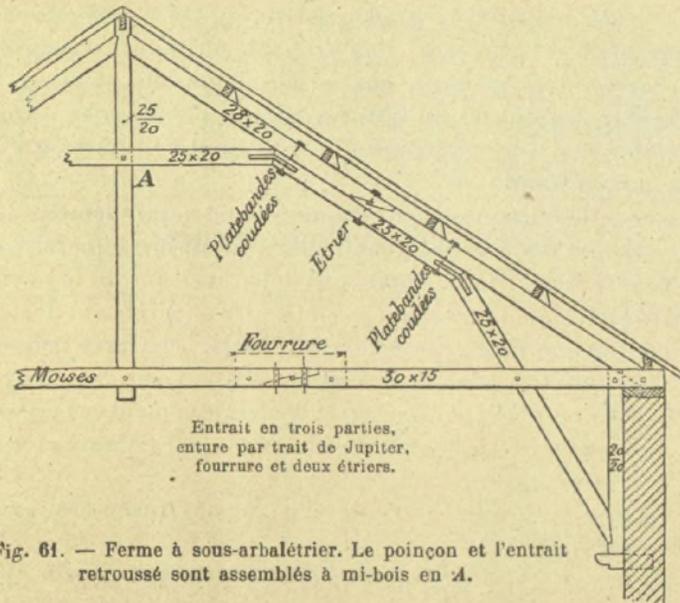


Fig. 61. — Ferme à sous-arbalétrier. Le poinçon et l'entrait retroussé sont assemblés à mi-bois en A.

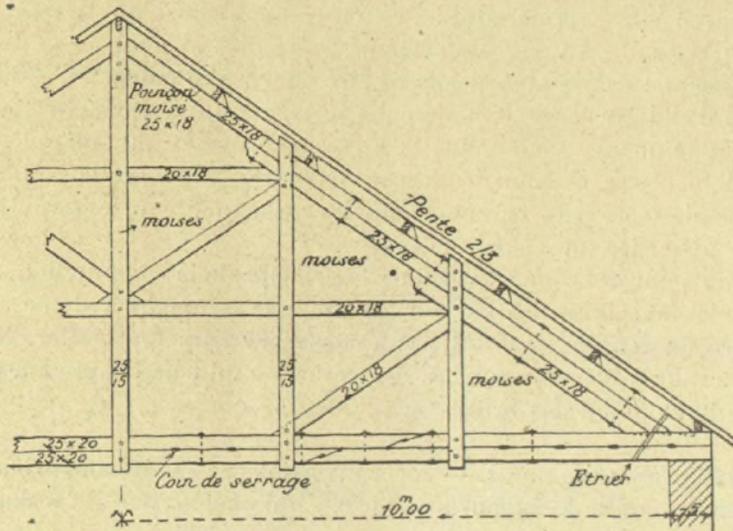


Fig. 62. — Grande ferme à sous-arbalétrier de 20 m. de portée.

184. Fermes ogivales de grande portée. — On a imaginé récemment un genre de charpente fort originale et qui est susceptible de donner une solution élégante aux fermes de grande portée.

Il s'agit de constituer en bois un arc, en plein cintre ou ogival, susceptible de garder sa courbure, sans qu'il soit nécessaire de le bander par un tirant.

Les pièces de bois qu'on peut employer sont naturellement droites. On ne peut pas les courber quand elles ont un fort équarrissage.

Le colonel Emy, il y a longtemps déjà, avait résolu le problème, en courbant des madriers peu épais et en les superposant de manière à obtenir l'équarrissage nécessaire; mais, ces arcs superposés tendent à s'ouvrir, à se redresser en glissant sur les surfaces de contact. On s'y oppose en les serrant énergiquement les uns sur les autres au moyen de brides ou de boulons et en enfonçant des clefs dans les joints courbes.

La solution nouvelle s'inspire des mêmes principes avec des moyens différents.

Supposons que l'on prenne un bois de fort équarrissage et qu'on y pratique des traits de scie longitudinaux, en s'arrêtant à une certaine distance d'une des extrémités; on a ainsi un faisceau de planches minces issues d'un même bloc solide et compact.

Chacune de ces planches peut être courbée aisément et, si l'on a soin d'enduire leurs faces de colle forte, on finira par avoir un arc ayant la même section que la pièce primitive et qui, lorsque tout sera bien sec, ne pourra plus se détendre, parce que la colle crée une adhérence suffisante pour que les surfaces de contact ne puissent pas glisser les unes sur les autres.

Nous nous bornons à indiquer le principe de la construction, sans entrer dans le détail, car on conçoit que la longueur d'une seule pièce de bois ne suffirait pas à constituer l'arc tout entier. Il y a donc, sur le développement, des entures à mi-bois, maintenues par des boulons ou des brides.

185. *Sheds suspendus*. — Les couvertures en sheds comportent un grand nombre de supports verticaux qui encombrant les locaux. Il peut en résulter quelques inconvénients, lorsqu'il s'agit par exemple d'organiser des ateliers où doivent trouver place de nombreuses machines-outils.

On peut alors conserver les avantages des sheds au point de vue de l'éclairage, et supprimer néanmoins quelques-uns des supports intermédiaires, ou leur donner des écartements qui ne concordent pas avec la position des chéneaux du shed, en posant ces sheds eux-mêmes sur des poutres en treillis de grande longueur.

PETITES FERMES SPÉCIALES

186. Petites fermes en consoles. — Les dispositifs indiqués aux figures 63, 64, 65 montrent comment on peut établir très simple-

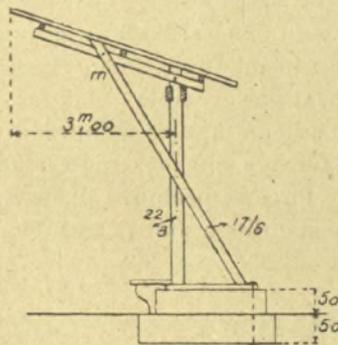


Fig. 63. — Abri à une pente sur massif et avec ancrage.

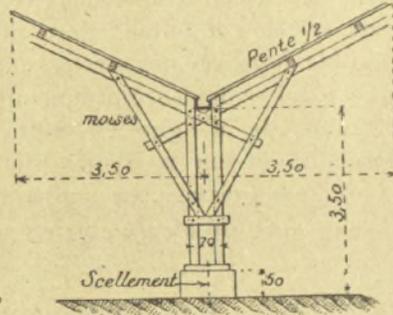


Fig. 64. — Abri double pente à scellement dans le sol.

Équarissages
des figures 64 et 65.

Arbalétrier } on bastings
Contre-fiche } 17 x 7 assemblés
à mi-bois.
Poteau 22 x 15.
Moisage en bastings.
Chevrons 8 x 4.

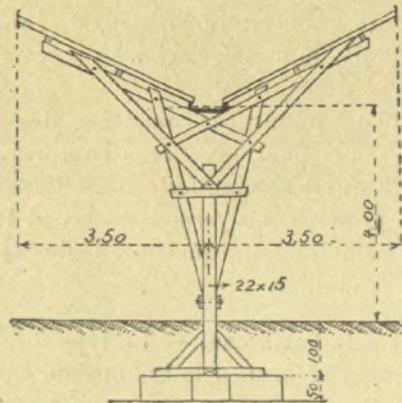


Fig. 65. — Abri double pente posé sur un massif maçonné.

ment des abris en consoles, soutenus sur une seule file de poteaux.

Le premier (fig. 63) est à une seule pente. Pour équilibrer le porte à faux, le poteau et une contre-fiche sont fixés sur une même semelle en bois qui elle-même est solidement ancrée dans un massif en maçonnerie assez pesant.

Les autres types sont à deux pentes, ramenant l'eau vers un chéneau placé au droit du poteau.

Les deux consoles formant auvents se font naturellement équilibrer; il suffit de fixer le poteau sur un dé en pierre au moyen d'une semelle convenablement ancrée.

187. Ferme légère démontable (Ardant). — Nous citerons encore un curieux système de ferme légère, due au général Ardant, et qui est susceptible de rendre des services pour installations volantes, sur des chantiers qui se déplacent fréquemment par exemple.

L'examen de la figure 66 suffit d'ailleurs à faire comprendre sa construction et son montage. Elle n'exige que des matériaux de très faible équarrissage. La jambe de force se prolonge jusqu'à une semelle de pied qui assure une bonne stabilité à tout l'ensemble.

§ 3. — CHARPENTES MIXTES

188. — Le bois et le métal jouissent de propriétés qui leur sont propres et se prêtent : le bois aux efforts de compression sans flambage, grâce aux grandes dimensions de l'équarrissage auquel on est toujours conduit; le métal, l'acier en particulier, résistent très bien à la traction.

On est ainsi conduit à constituer des charpentes mixtes en employant le bois pour les pièces comprimées et l'acier, au contraire, partout où il se manifeste des efforts d'extension.

Tel est le principe des *fermes mixtes* et l'on conçoit qu'on peut appliquer ce principe à un quelconque des types de charpentes que nous venons d'étudier.

189. Ferme à la Polonceau. — Le type le plus rationnel des charpentes mixtes est la ferme à la Polonceau. L'idée fondamentale consiste à prendre pour arbalétrier une poutre armée formée d'une pièce de bois munie d'une ou plusieurs bielles normales à sa direction et

de tendeurs chargés de reporter les efforts vers les extrémités. On

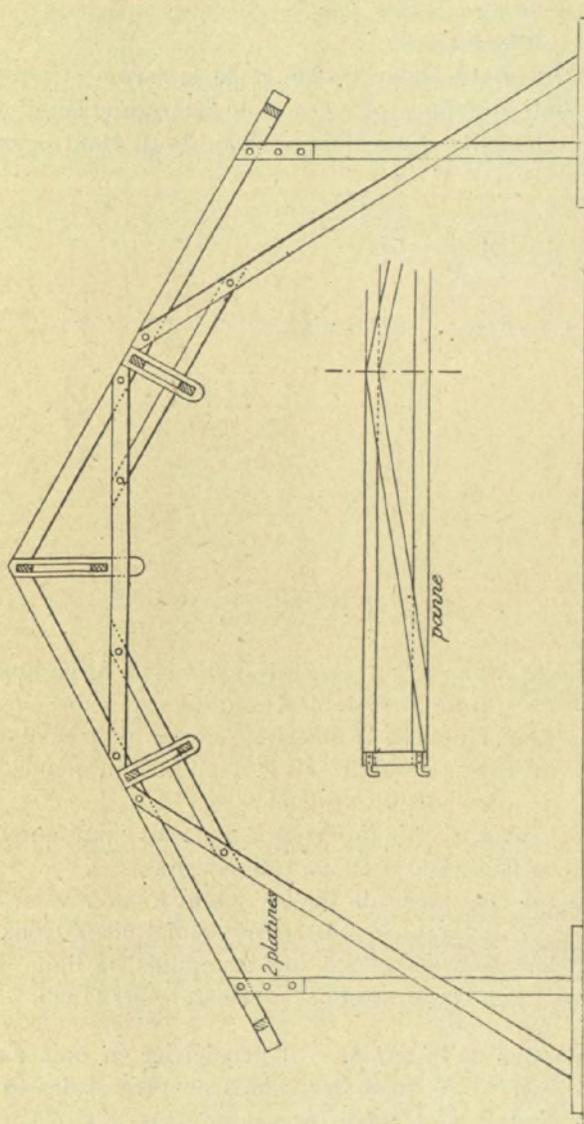


Fig. 66.

réunit alors les pieds de bielles principales par un tirant neutralisant les poussées sur les appuis.

En principe, les différentes pièces du système sont articulées et leur tension peut être réglée par des organes spéciaux (filetages, écrous simples et à lanterne).

La figure 67 indique l'aspect général de la ferme et nous avons tracé l'épure statigraphique qui permet de déterminer les efforts dans les différents éléments d'une demi-ferme, tout étant symétrique d'ailleurs.

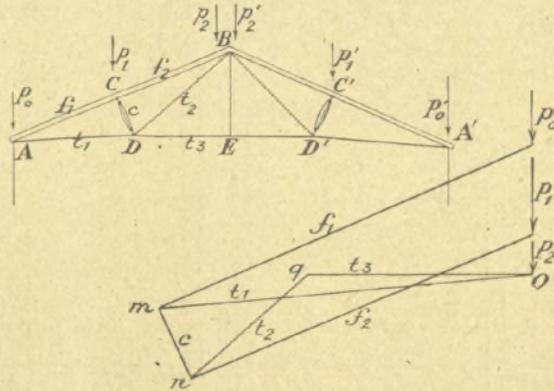


Fig. 67. — Polonceau.

189^{bis}. — Cette ferme comportant des pièces de forge et de tour, qui sont coûteuses, il importe de ne l'appliquer qu'à des charpentes de grande portée. Il existe alors des pannes intermédiaires qui peuvent faire travailler l'arbalétrier à la flexion, d'un nœud à l'autre. C'est un des inconvénients du système.

La bonne organisation d'une ferme Polonceau exige que la pente du toit soit assez faible (30 à 40 p. 100 environ).

Il convient que les pieds de bielles soient à un niveau un peu supérieur à celui des appuis pour éviter l'effet disgracieux qui se produirait si, la ferme s'asseyant sur ces appuis, la ligne des premiers tendeurs et du tirant semblait s'affaisser vers le sol.

190. Organisation de la ferme. — L'arbalétrier en bois s'emboîte par ses deux extrémités dans des sabots de pied et des sabots de faitage. Ces sabots⁽¹⁾ sont traversés par de gros boulons transvèr-

(1) On remarquera que les sabots représentés sur les figures 68 à 70 ont des jouées de hauteurs inégales. Cette disposition a pour but de permettre le serrage énergique de la

saux servant d'attache aux étriers qui maintiennent les tendeurs. La bielle est généralement en fonte. On lui donne une section cruciale; son profil longitudinal est galbé. Son extrémité supérieure forme un sabot saisissant l'arbalétrier; à l'autre extrémité, la bielle porte un œil permettant le boulonnage entre deux plaques en tôle forte qui servent, par le même moyen, à fixer les tendeurs (fig. 68 et 69).

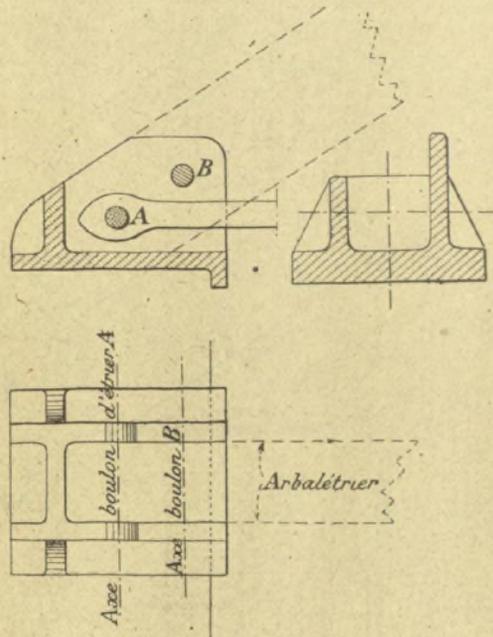


Fig. 68. — Sabot de pied d'arbalétrier avec attache de l'étrier d'un tendeur.

Le sabot de tête, outre les trous de boulon correspondant aux étriers de tendeurs, porte une oreille inférieure où s'accroche une aiguille pendante en fer rond traversant le vide de l'écrou à lanterne qui permet de tendre le tirant en son milieu. L'aiguille pendante

pièce de bois sur le métal du sabot. Dans le cas où celui-ci est une simple boîte où s'engage l'arbalétrier, le bois en séchant ne remplit plus son logement et ne s'appuie plus que sur le fond. Le boulon lui-même ne joue plus que le rôle d'une simple cheville.

Néanmoins, la plupart des constructeurs préfèrent une disposition symétrique et cette symétrie semble en particulier nécessaire lorsque le boulon sert d'attache aux deux branches d'un étrier qu'il importe de placer dans des conditions identiques.

est filetée et son écrou supporte un pendentif qui maintient l'éprou à lanterne à une hauteur convenable.

191. Polonceau improvisé. — Ce système permet d'improviser assez facilement une charpente et, dans ce cas, on supprime toutes les

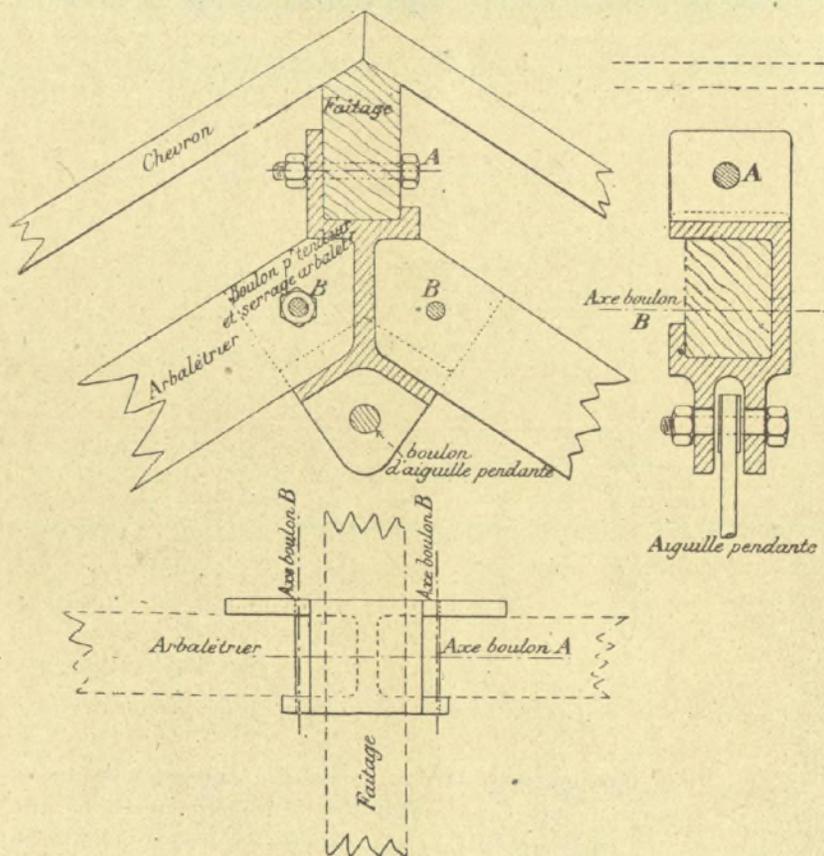


Fig. 69. — Sabot de faitage en fonte.

pièces en fonte, qui, par suite des frais de moule, ne sont économiques que si on les fabrique en grand nombre.

La figure 70 en offre un exemple. On voit comment la bielle, notamment, est constituée par deux moises en bois, le boulon inférieur passant dans l'œil des trois tendeurs.

Pour éviter les efforts de flexion sous la charge des pannes intermédiaires, celles du haut sont soutenues par un faux-entrait moisé,

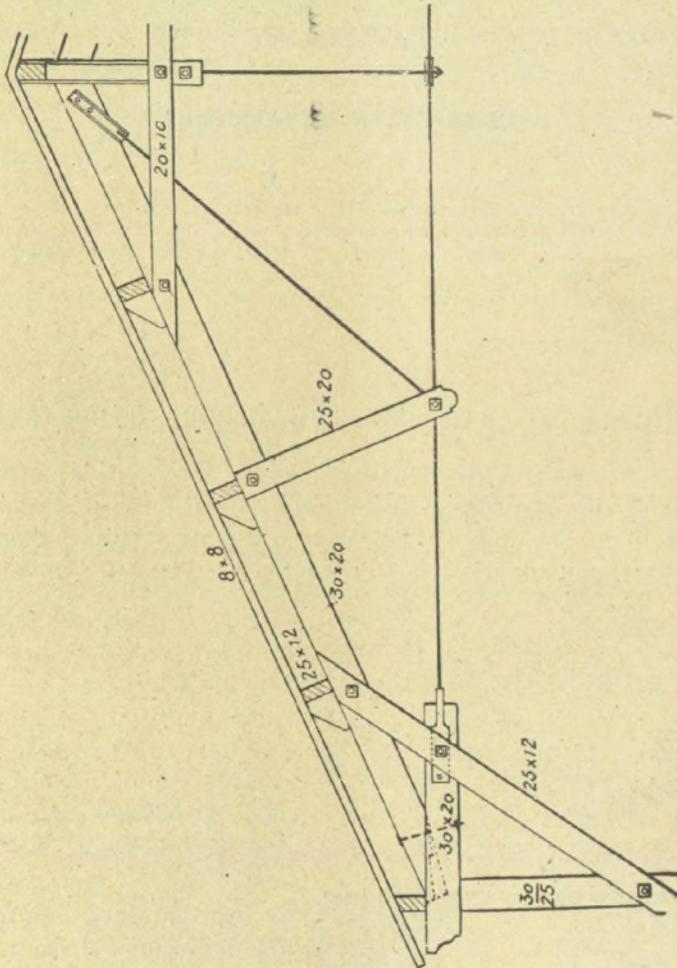


Fig. 70. — Ferme Polonceau bois et fer avec poinçon et entrait retroussé.

et celles du bas s'appuient sur la tête de contre-fiches qui d'ailleurs sont nécessaires ici, la ferme reposant, non pas sur des murs, mais sur des poteaux en bois, ce qui oblige à assurer l'invariabilité de l'angle du poteau et de la ferme.

CHAPITRE VIII

CHARPENTES MÉTALLIQUES

- § 1. QUELQUES EXEMPLES DE CHARPENTES MÉTALLIQUES INDUSTRIELLES. — a) Abri de quai. — b) Ferme Polonceau articulée et rigide.
- § 2. FERMES A RÉSEAUX (fermes anglaises). — Mode de calcul, épure statigraphique, calcul direct. — Variantes. — Ferme à semelle inférieure abaissée.
- § 3. FERMES A SEMELLE INFÉRIEURE POLYGONALE OU COURBE. — Fermes en consoles. — Fermes de terrasse.
- § 4. COUVERTURES EN VOUTES.

§ 1. — QUELQUES CHARPENTES MÉTALLIQUES INDUSTRIELLES

192. — Nous ne nous étendrons pas sur les procédés généraux de construction des fermes métalliques, sujet qui a été traité dans les « Notions » et nous bornerons à en donner quelques exemples particulièrement adaptés à la construction de bâtiments industriels.

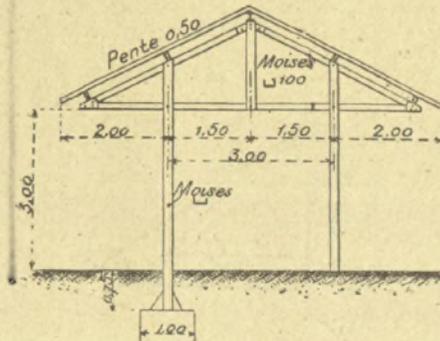


Fig. 71.

193. a) Abris de quai. — On peut, en particulier, établir des charpentes économiques en utilisant uniquement des fers à T; mais cette considération d'économie exige que l'on s'en tienne à des procédés d'assemblage aussi simples que possible. Ce ne sont pas toujours les meilleurs, mais il s'agit, bien entendu, de charpentes de faible portée et ne supportant pas de fortes charges.

La figure 71 en fournit un exemple. Destinée à servir d'abri de quai, cette petite construction ne couvre que 7 m. de large; mais la

distance entre poteaux n'est que de 3 m., le reste étant donné par deux auvents de 2 m. chacun. La ferme est constituée par des profilés PN de 120 mm. saisis entre deux U qui forment les montants et qui moisent les pièces de ferme.

Ce mode d'assemblage n'est admissible que dans une charpente de très peu d'importance.

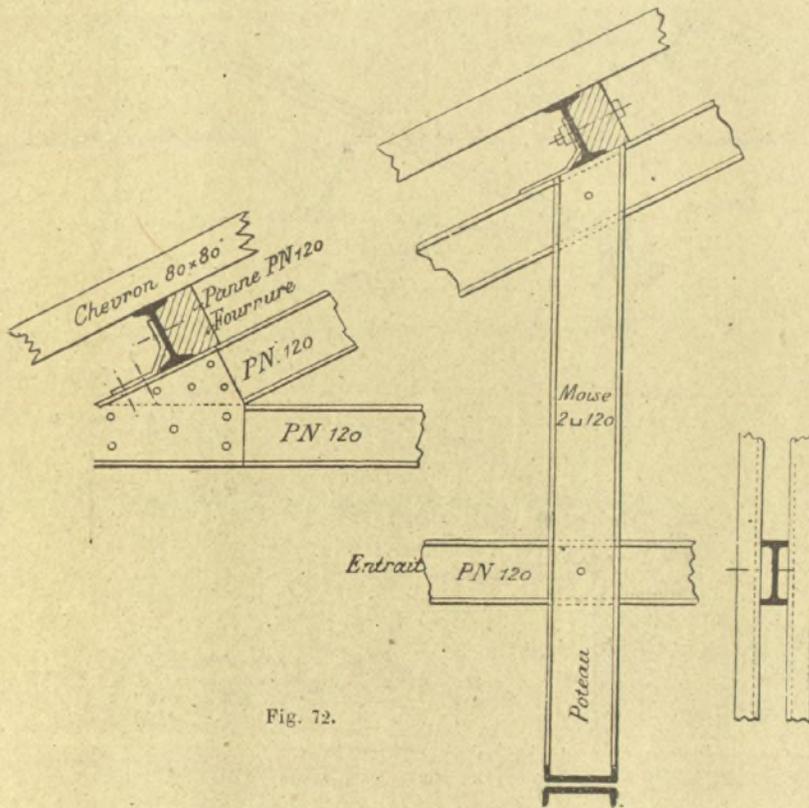


Fig. 72.

Les pannes en PN 120 sont fourrées par une pièce de bois qui permet de clouer les chevrons facilement.

194. b) Polonceau articulé. — Nous avons vu plus haut en quoi consiste une ferme Polonceau. On peut évidemment substituer au bois qui constituait les éléments comprimés dans notre exemple précédent, des pièces en métal. Si l'on remarque que, le plus souvent,

ce genre de fermes est employé pour franchir de grandes portées, nécessitant des pannes intermédiaires, on voit que l'arbalétrier devra résister à la flexion, ce qui conduit à l'établir en fer à double T.

Les pannes seront alors fixées sur l'âme même de l'arbalétrier, au moyen d'équerres prises dans de la cornière.

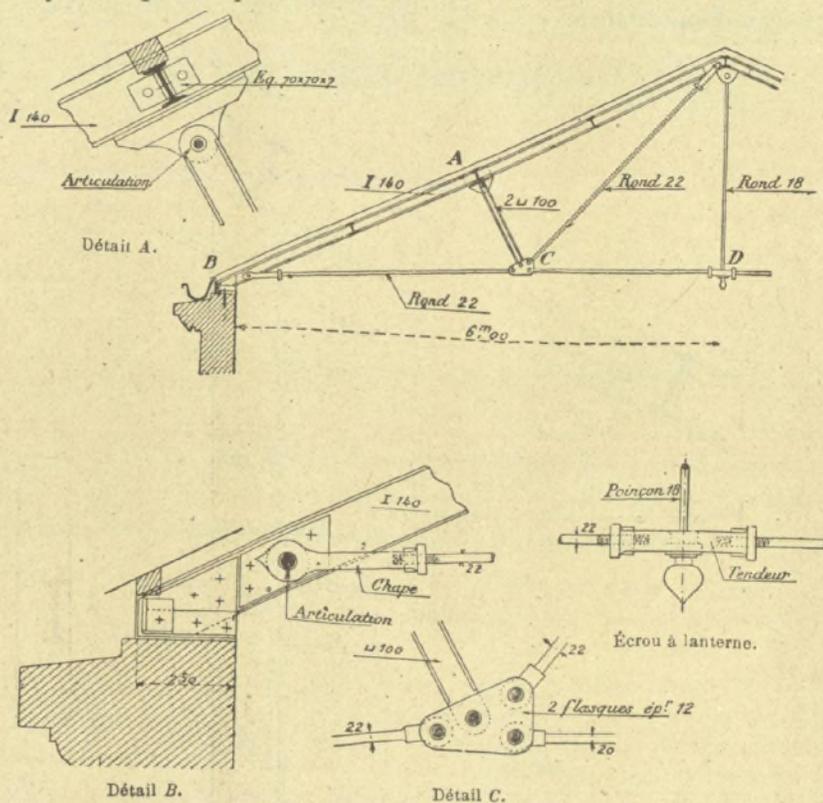


Fig. 73. — Polonceau articulé.

La figure 73 permet de se rendre compte de l'organisation de la ferme.

195. c) Polonceau rigide. — Les pièces forgées (étriers, etc.) que comporte un Polonceau articulé sont d'un travail délicat et coûteux et l'on a, dans bien des cas, supprimé les articulations, en rendant tous les assemblages rigides.

Les tendeurs et tirants, pour pouvoir être facilement rivés ou boulonnés sur des goussets, ne peuvent plus être en fers ronds. On y emploie le plus souvent des cornières, ou des fers en Γ , si l'on veut donner à la charpente une rigidité plus complète.

Détail A.

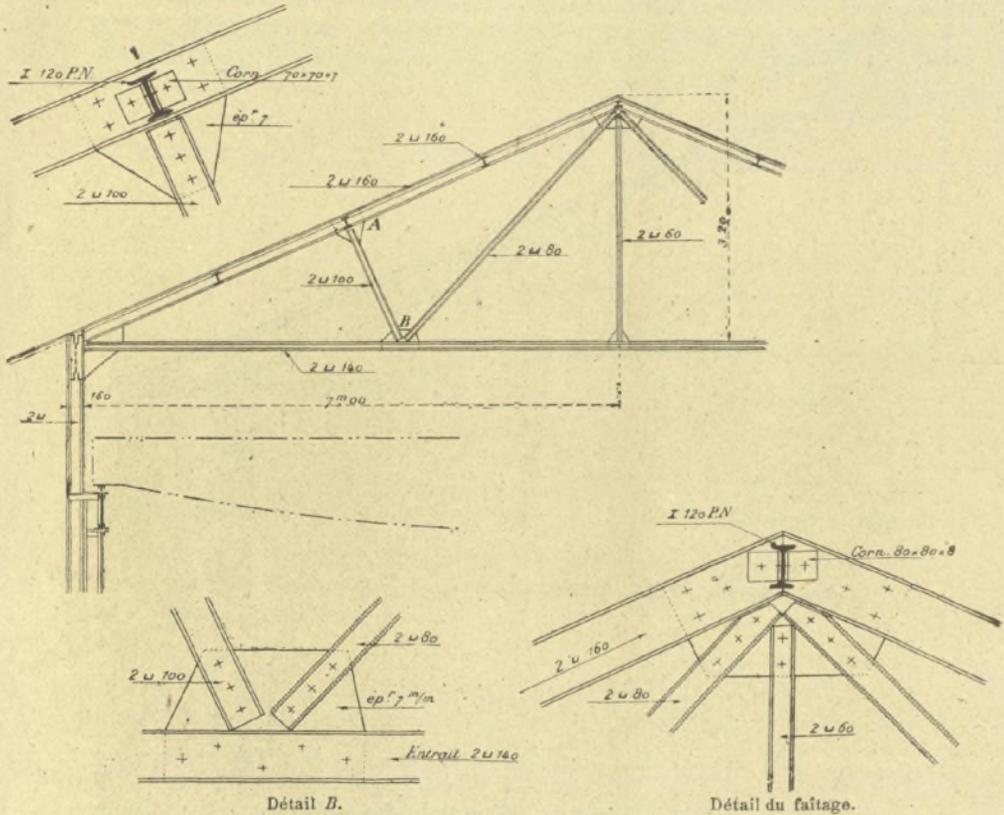


Fig. 74. — Polonceau rigide en fers à L.

C'est le parti adopté dans la ferme de la figure 74. On y remarquera que toute la ligne des tendeurs inférieurs a été maintenue horizontale, pour pouvoir y suspendre des palans. C'est un cas particulier et le type général comporte un tirant reliant les pieds de bielles légèrement au-dessus des pieds d'arbalétriers.

Le poteau de 160 mm. de large est renforcé dans la partie inférieure par un poteau formé de 2x de 100 mm. ayant pour rôle de

soutenir la poutre composée, qui soutient le rail d'un pont roulant.

On remarquera que cette poutre est en partie en porte à faux sur le bord du pilier et ce n'est pas une disposition à recommander.

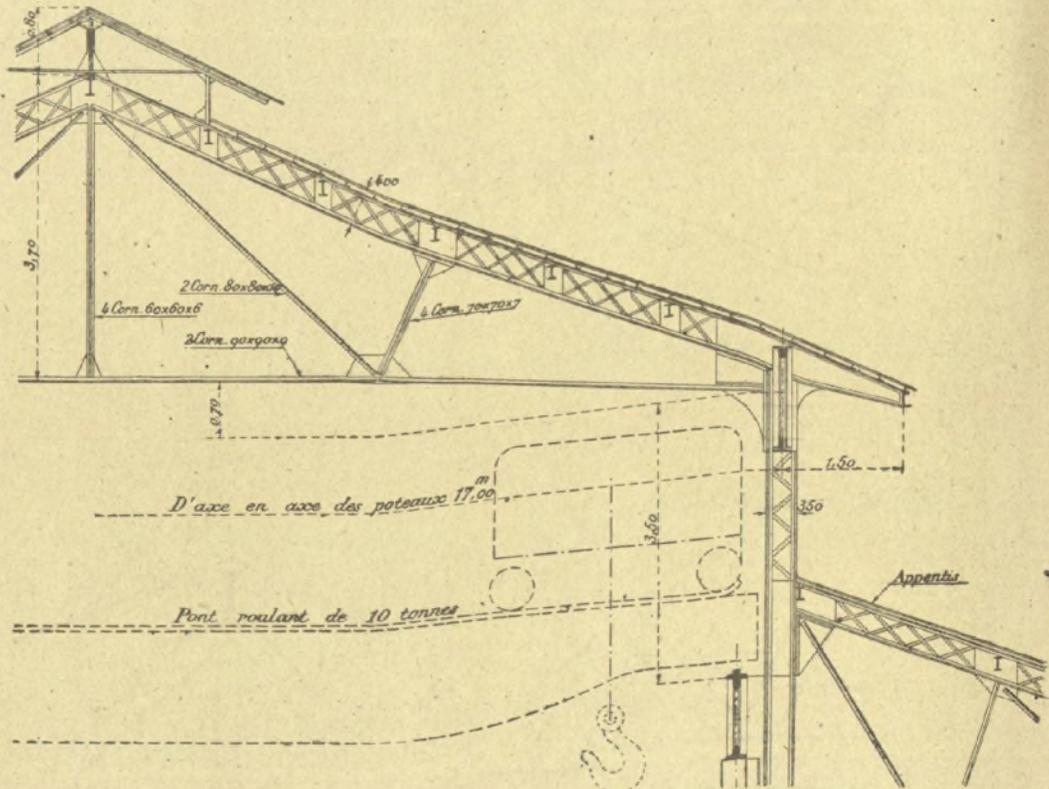


Fig. 75. — Ferme Polonceau rigide. Ensemble.

196. — La charpente de la figure 75 présente également un double poteau, mais la poutre de chemin de roulement est mieux assise.

L'arbalétrier est une poutre en treillis, ce qui lui assure une excellente résistance à la flexion. On remarquera la pose des matériaux de couverture au moyen de *pannes-lattis* en cornières. On conçoit qu'une cornière peut franchir une distance beaucoup plus grande

qu'une latte en bois, ce qui permet d'espacer beaucoup plus les chevrons. Pour de la tuile mécanique pesant 45 kg. par m², on peut, sans prendre un échantillon trop fort, faire porter la panne-lattis sur 2,50 m., de sorte que, pour des travées de 7 m. à 7,50 m. entre fermes, il suffit de deux chevrons intermédiaires.

Ces chevrons seront métalliques et on les arasera avec les arbalétriers qui serviront eux-mêmes d'appui aux cornières du lattis. Les chevrons sont le plus souvent constitués par deux cornières jumelées. Il convient donc de les soutenir et, dans ce but, on place des pannes en fer à T en dessous de la semelle supérieure de l'arbalétrier.

On voit tout cela sur notre figure.

§ 2. — FERMES A RÉSEAUX (FERMES ANGLAISES)

197. — Le système des fermes à réseaux, dites aussi fermes anglaises, est certainement le plus usité, à l'heure actuelle, dans la construction des établissements industriels. C'est le plus rationnel, parce qu'il comporte un réseau isostatique, sans barres surabondantes, et se prête ainsi mieux que tout autre à la détermination des efforts.

Composée d'éléments de même composition — deux cornières, le plus souvent — la ferme se monte et s'assemble aisément au moyen de goussets dans le plan de symétrie.

On pourrait disposer les barres du réseau de différentes manières, mais en fait, on donne le nom de *fermes anglaises* au type de ferme comportant aux nœuds des pannes, des montants verticaux et des diagonales inclinées vers le pied de poinçon — on dit aussi : convergentes en dessous de la ferme.

Dans ces conditions, les montants sont élevés et les diagonales comprimées. Si les diagonales, au contraire, convergent dans le haut, les efforts s'inversent : les montants sont comprimés et les diagonales sont élevées. Il y aurait donc un certain avantage à faire subir les efforts de compression aux montants qui sont les barres les plus courtes ; mais les diagonales des mailles trapézoïdales sont plus longues que dans l'autre système et l'aspect général est peut-être moins satisfaisant.

198. — On voit sur les figures 76 et 77 comment ces principes sont appliqués à une ferme de 16,50 m. de portée posée sur murs en maçonnerie. La semelle inférieure est légèrement inclinée en se

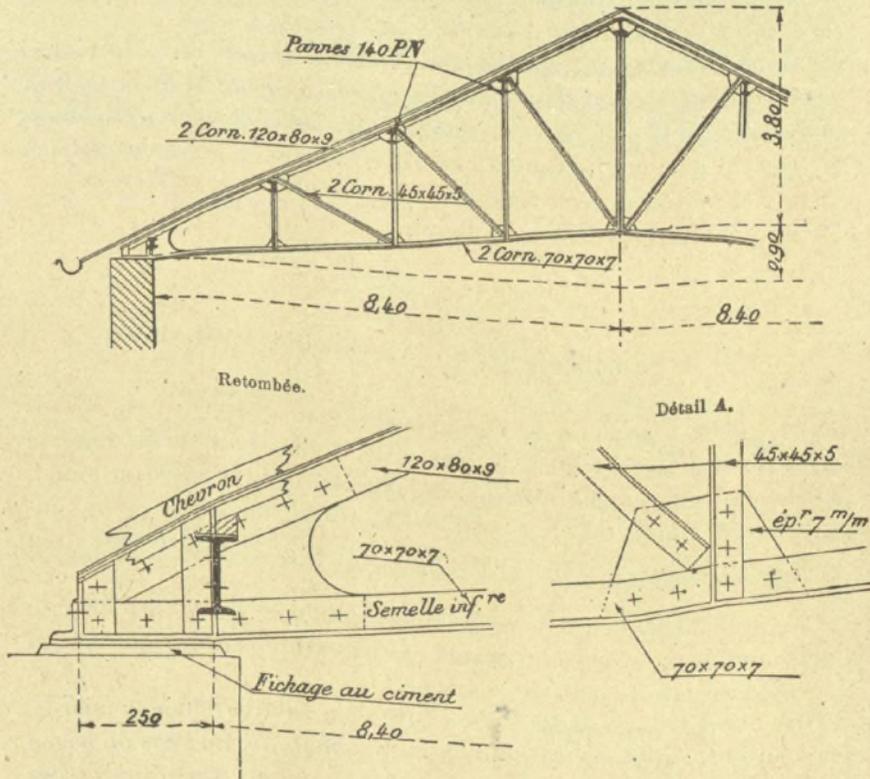


Fig. 76. — Détail d'une ferme de 16,80 m. Élévation.

relevant vers le poinçon; la charpente a ainsi une allure plus légère, et en outre les diagonales sont un peu moins longues.

On remarquera que, sur toute la longueur d'appui, où se manifestent les plus grands efforts tranchants, s'étend un fort gousset raidi par deux cornières verticales.

Le contreventement est assuré par des panneaux reliant les poinçons entre eux. Ces panneaux sont représentés sur la figure 77.

199. Mode de calcul. — Pour déterminer les efforts on peut opérer de deux manières : soit par une méthode géométrique et

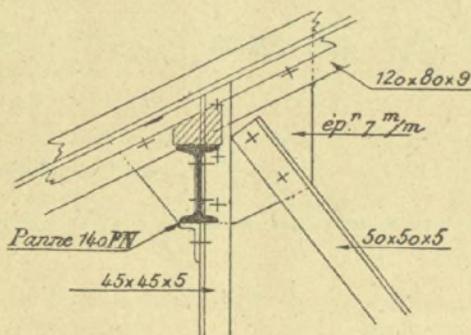
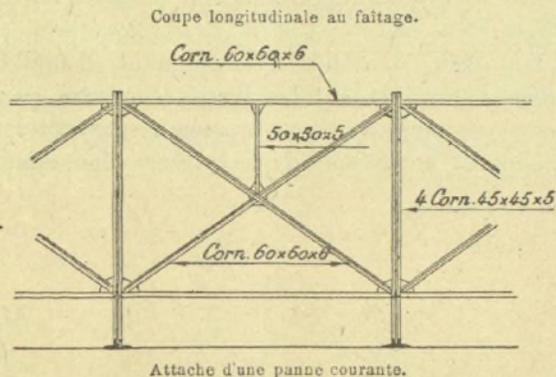


Fig. 77.

une épure statigraphique, soit par le calcul direct en appliquant la méthode dite des moments.

a) *Méthode statigraphique.* — Le procédé géométrique est basé sur ce principe que, les différentes forces agissant autour d'un nœud (y compris les réactions dans les barres) sont en équilibre, et que, par conséquent, si l'on construit un polygone en portant les vecteurs représentant ces forces bout à bout, ce polygone dynamique se ferme.

On connaît toutes ces forces en direction, il suffit donc qu'il n'y ait que deux forces inconnues en grandeur pour qu'on puisse construire le polygone, ce qui détermine les deux inconnues.

Pour la construction de l'épure, on part d'un des appuis dont on connaît la réaction, puisqu'elle est égale au poids de la demi-ferme. Il ne s'y trouve que deux inconnues : ce sont les efforts dans les deux membrures.

Pour que l'épure se poursuive correctement, il faut en tous les nœuds prendre successivement les forces à mesure qu'on les rencontre, en tournant toujours dans le même sens. Si l'on part de l'appui de gauche, on tourne dans le sens des aiguilles d'une montre.

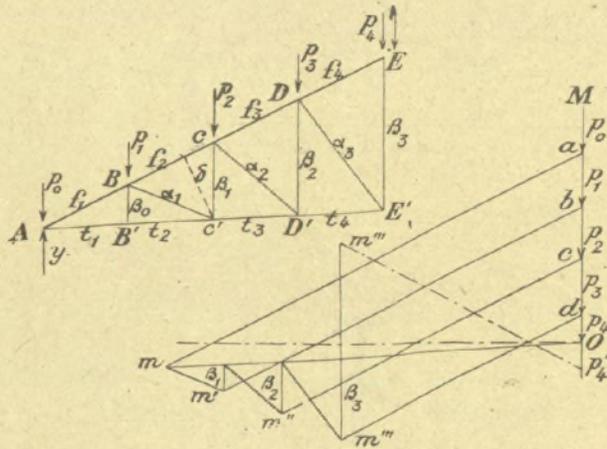


Fig. 78.

Si nous portons bout à bout les charges p_0, p_1, p_2, \dots aux différents nœuds, à une échelle quelconque, nous obtenons la droite MO, et, en sens inverse, OM est la réaction de l'appui.

Partons alors du point A où la première force connue est la réaction y_1 et tournons dans le sens des aiguilles d'une montre. Nous rencontrons successivement p_0 (force connue), f_1 et t_1 (forces inconnues). A partir de O construisant le dynamique de ces forces, nous avons OM ($= y_1$)Ma(p_0)am et puisque le polygone doit se fermer, il suffit de mener par O une parallèle à t_1 . On a dès lors

$$am = f_1 \quad mO = t_1.$$

Le sens de l'effort (compression ou traction) résulte de la direction du parcours. Si nous nous dirigeons vers le nœud c'est une compression.

sion ; si nous nous éloignons du nœud c'est une traction. Ainsi parcourons $OMamO$. En allant de a en m nous nous dirigeons vers le nœud A : l'effort f_1 est une compression. En allant de m en O nous nous éloignons du nœud, c'est une traction. On remarquera :

1° que le premier montant β_0 n'intervient pas dans l'équilibre ; son rôle est uniquement de soutenir le tronçon de la semelle inférieure ;

2° Pour avoir l'effort de traction total du poinçon, il faut doubler ce qu'on trouverait pour la demi-ferme. Cette tension sera $m'''m'''$.

Nous ne poursuivrons pas l'exposé de la méthode et de ses cas particuliers ; notre intention était seulement de rafraîchir la mémoire sur des procédés connus.

b) Calcul direct. — Nous supposerons que, sur le schéma de la ferme, nous avons placé toutes les forces extérieures.

Si nous pratiquons une section coupant trois barres et que nous enlevions le tronçon de droite du système, l'équilibre sera rompu. Pour le rétablir, cependant, il suffirait d'appliquer à chaque barre coupée une force égale à la réaction moléculaire que lui faisait subir le tronçon enlevé. Cette réaction s'exerce évidemment suivant l'axe de la barre ; nous connaissons donc sa direction.

Or supposons que nous prenions les moments de toutes les forces de gauche, y compris les trois réactions de barres coupées, par rapport au point de rencontre de deux d'entre elles, le nœud C' par exemple.

Les moments des deux barres qui se coupent en ce point sont nuls, et il reste le moment de la troisième barre f_2 qui, pour l'équilibre, doit être égal à la somme des moments des forces extérieures.

Si δ est la distance de C' à f_2 , d_1 , d_0 , d_1 , etc., les distances des différentes forces extérieures à C' , on aura donc

$$f_2\delta = yd_y - [p_0d_0 + p_1d_1]$$

ou d'une manière plus générale

$$f_2\delta = \Sigma pd.$$

200. Variantes. — Les fermes à réseaux sont susceptibles de nombreuses variantes.

a) Si la ferme est de grande portée et les pannes nombreuses, la montée étant considérable au faitage, les dernières diagonales

seraient très longues et très obliques. On peut alors couper tout le système par un tendeur oblique BC, au-dessus duquel sera constitué le réseau.

Si l'on cherchait à tracer l'épure statigraphique en partant de A, on se heurterait à une indétermination en arrivant au nœud B où l'on rencontrerait trois barres dont les réactions seraient inconnues.

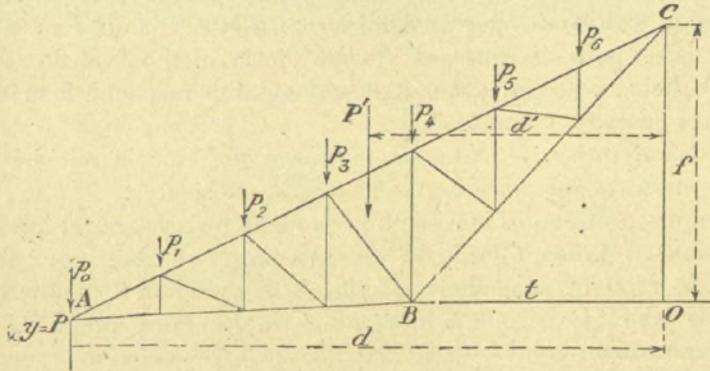


Fig. 79.

On lève alors facilement l'indétermination en appliquant la méthode des moments et en déterminant la traction du tirant médian BO.

Si en effet P' est la résultante des charges de p_0 à p_6 , on a, en coupant par un plan mené par le sommet C et en prenant les moments par rapport à C,

$$tf = Pd - P'd'.$$

201. b) Ferme en sheds brisés. — Les réseaux se prêtent aussi à la constitution des sheds.

Parfois, pour ne pas donner au vitrage une importance trop considérable, on adopte le système à sheds brisés que représente notre figure.

La portée entre supports étant de 12 m., on a disposé tout d'abord une ferme ordinaire à réseaux, mais le long pan est prolongé de manière à ménager un jour ab , suffisant sur le second pan.

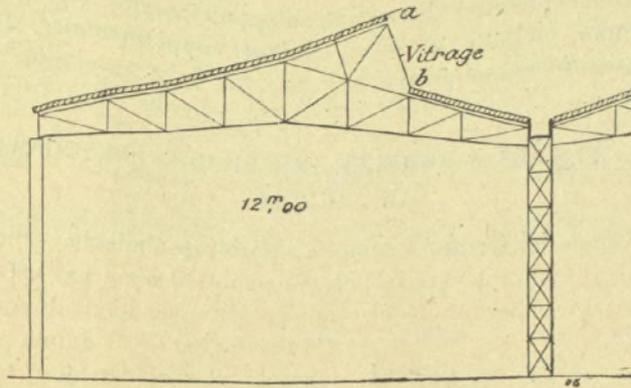


Fig. 80.

202. c) Ferme à semelle inférieure abaissée. — Lorsque la charpente de grande portée repose sur un pilier métallique, il convient d'assurer l'invariabilité de l'angle de ce pilier et de la ferme sous l'action du vent.

Le meilleur moyen est d'abaisser la semelle inférieure de manière à avoir sur le pilier deux points d'attache suffisamment distants. Le système est alors à barres surabondantes. Tant qu'il n'est soumis qu'à des charges verticales, l'équilibre subsisterait alors même qu'on supprimerait la barre $A'm$ qui n'intervient que lorsque le vent exerce une poussée transversale sur tout le système.

L'épure s'établit donc en ne tenant pas compte de cette barre.

On remarquera sur la figure une disposition particulière. Pour n'avoir pas des diagonales trop inclinées, on a considéré des nœuds principaux ABCD suffisamment distants. Toutefois cette distance pourrait être trop grande et les tronçons fléchiraient si la couverture les charge en des points intermédiaires ou si l'on adopte le système des pannes-lattis qui répartit la charge tout le long de la semelle supérieure.

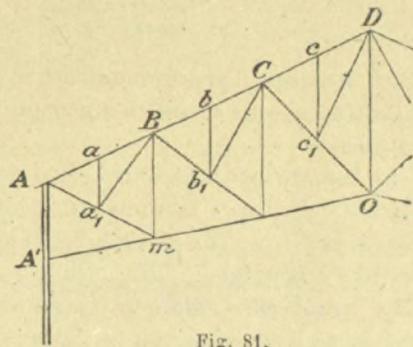


Fig. 81.

On a donc constitué des points d'appui intermédiaires *abc*, au moyen d'une bielle et d'un tendeur supplémentaire. Chaque tronçon se trouve ainsi armé.

§ 3. — FERMES A SEMELLE INFÉRIEURE POLYGONALE OU COURBE

203. — Dans les fermes à semelle inférieure abaissée, celle-ci est inclinée en remontant vers le poinçon; mais il n'est pas nécessaire de la maintenir horizontale et elle s'accommode bien au contraire d'une courbure qui donne plus de légèreté et d'élégance à toute la charpente.

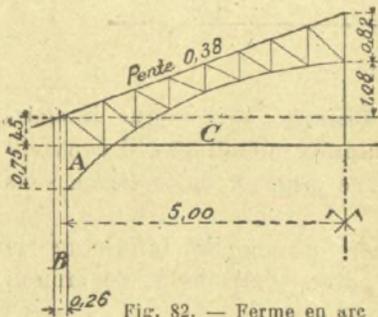


Fig. 82. — Ferme en arc avec tirant.

Toutefois la répartition et le sens des efforts se modifient et l'on finit par avoir une véritable voûte où les éléments les plus bas sont soumis à la compression.

En principe, une telle forme ne comporte pas de tirant horizontal, Cependant l'adjonction d'un organe de ce genre soulage beaucoup le réseau proprement dit et peut être économique.

Notre croquis en offre un exemple pour une ferme de 10 m. de portée.

La membrure supérieure est rectiligne et en pente de 0,38 par m.; elle est, ainsi que la membrure inférieure, composée de deux cornières de $70 \times 70 \times 9$, entre lesquelles s'intercalent les barres du treillis en fer plat de 70×10 .

Le tirant est également formé de deux cornières de même force et il se trouve suspendu au faîtage par une aiguille pendante en fer plat.

Les deux membrures et le tirant lui-même sont assemblés sur les goussets du montant, de 0,26 m. de large, composé de quatre cornières sur une âme en tôle.

Les deux membrures et le tirant lui-même sont assemblés sur les goussets du montant, de 0,26 m. de large, composé de quatre cornières sur une âme en tôle.

204. Ferme à lanterneau. — Dans la ferme de la figure 83, le tirant n'existe pas. La charpente exerce, par conséquent, une

poussée sur le montant auquel il convient de donner une largeur convenable pour y résister.

La portée est de 18 m. La figure indique suffisamment les éléments de cette ferme.

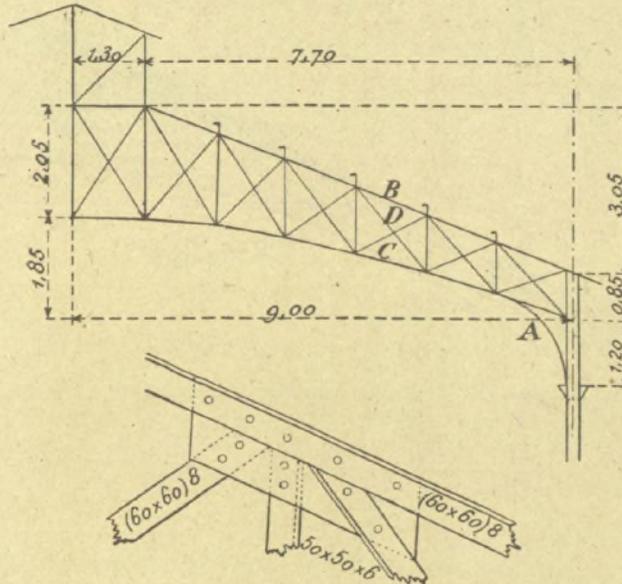


Fig. 83. — Ferme en arc sans tirant.

205. — Dans l'exemple de la figure 84, la poussée de la ferme est combattue par l'entrait du plancher auquel viennent se rattacher les pieds de l'arc.

Cet arc est une anse de panier.

Voici les éléments principaux de cette charpente qui couvre une portée entre murs de 13,80 m. avec un espacement des fermes de 4,20 m. :

Montée	6,30 m.
Pente du toit	0,30 m.
Couverture en tuiles mécaniques sur chevrons bois :	
Demi-grand axe de la membrure inférieure	6,55 m.
Demi-petit axe — — — — —	4,45 m.
Anse de panier à trois centres : rayons 3,40 et 8,60.	
Charges considérées pour le calcul des fers :	
Tuiles et lattes	50 kg.
Ferme, panne, chevrons	30 kg.
Neige et vent	60 kg.
	} Total : 140 kg.

Dans ces conditions, sans que le travail du métal dépasse 5 kg. par mm², le poids du métal est de 28 kg. par m² de surface couverte, hors murs.

Poids du métal par m² de surface couverte :
28 kg.

Semelle supérieure } T $\frac{130 \times 90}{10}$
Semelle inférieure }

Pannes PNI. de 140.

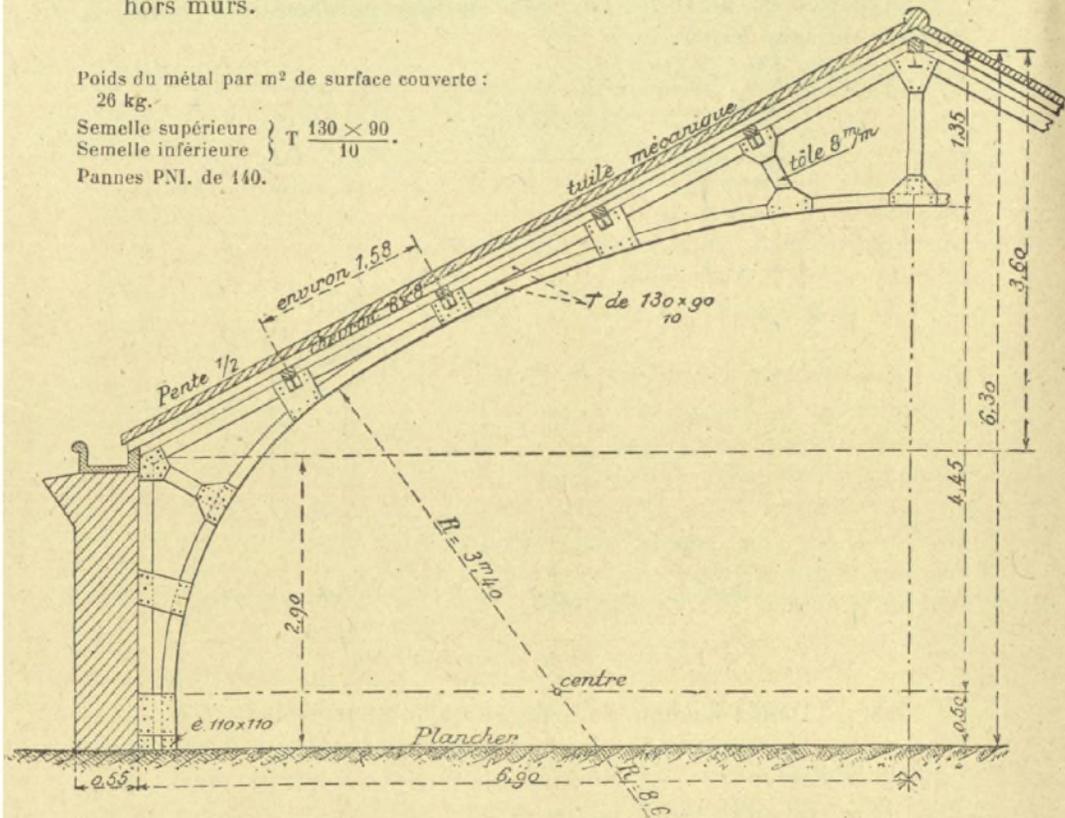


Fig. 84. — Ferme. Semelle inférieure en anse de panier.

206. Fermes en consoles (syst. de Dion). — Les fermes en consoles ont pour caractéristique que chaque demi-ferme et le pylône correspondant forment un système rigide. La poutre en console qui constitue l'arbalétrier, va en s'amincissant vers le faite où elle s'appuie sur la demi-ferme voisine. La poussée de celle-ci tend à faire tourner tout le système autour du pied du pylône, sur le dé de fondation, auquel on le relie par une forte plaque de couche, maintenue par de longs boulons de scellement (fig. 86).

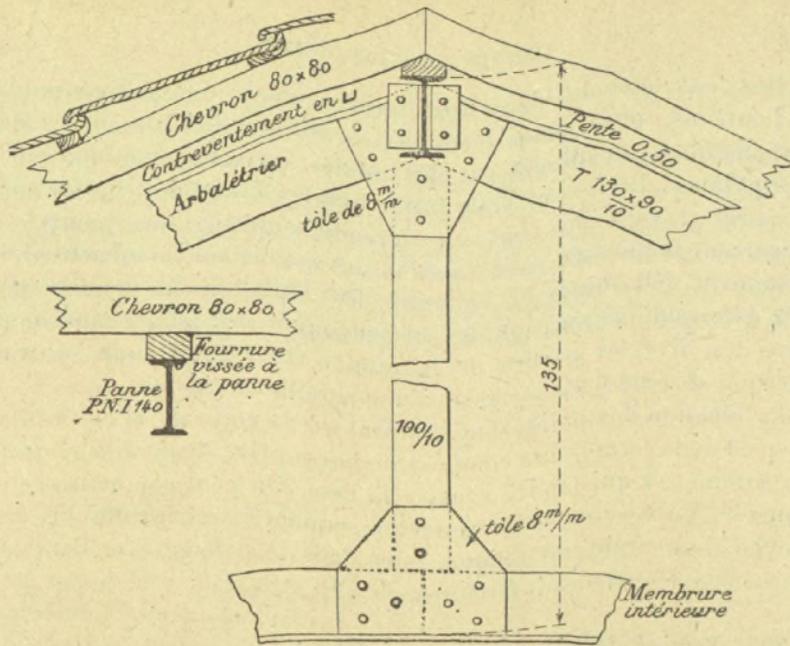


Fig. 85. — Détail du toitage.

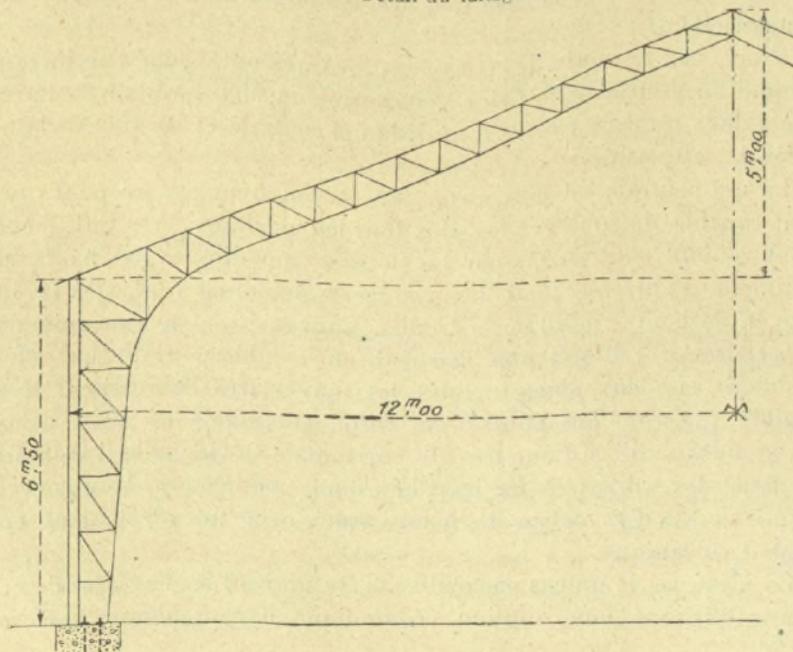


Fig. 86. — Ferme en console.

Les deux têtes des deux demi-fermes sont boulonnées ensemble. Toutefois, on conçoit bien qu'il serait possible de placer des articulations, constituées par des rotules, au sommet et aux pieds des pylônes. C'est sous cette forme que les fermes de ce genre sont réalisées lorsqu'elles ont une grande ampleur. Les points où s'exercent la poussée et la réaction des appuis sur le sol sont ainsi nettement déterminés et, en outre, les dilatations ne donnent pas des déformations susceptibles de provoquer des efforts anormaux dans les diverses parties de la ferme. On y gagne une sécurité presque absolue dans le calcul d'une pareille charpente.

La réaction des points d'appui étant sur la verticale, il en résulte, au pied de la ferme, une composante horizontale, égale à la poussée du sommet et qui tend à chasser la base. On peut combattre cette poussée, au cas où les scellements seraient jugés insuffisants, au moyen d'un tirant métallique, noyé dans le dallage et reliant les coussinets des rotules inférieures.

207. Fermes de terrasse. — Le mode de couverture en terrasse peut présenter, en bien des cas, des avantages dans la construction industrielle.

Voici, par exemple, les considérations qui ont décidé l'architecte auquel on doit la belle usine génératrice du Métropolitain de Paris (quai de la Rapée), à couvrir ainsi la nef centrale et les travées latérales de cette usine.

La nef centrale est parcourue dans sa longueur par un pont roulant capable de soulever les plus lourdes machines. Les rails de ce pont roulant sont portés par les poteaux métalliques très hauts du bâtiment, et il convenait d'entretoiser solidement ces poteaux au moyen de hautes poutres en treillis. Convenait-il, par surcroît, de superposer à celles-ci une charpente de comble pour le seul effet d'obtenir les deux plans inclinés des couvertures habituelles? Il a semblé que non. Les poutres en treillis constituaient à elles seules les grandes mailles d'une travure horizontale sur laquelle il suffisait de fixer des solives en fer hourdées d'une manière quelconque, et le mieux est d'y mettre du béton armé avec un revêtement en ciment volcanique.

Ce n'est pas là un cas particulier. Très souvent les terrasses de ce genre offriront une solution économique des problèmes qui se

posent dans la construction industrielle, et l'on ne peut que recommander d'y avoir fréquemment recours.

Le procédé consiste à établir des poutres droites à treillis entre les piliers principaux, qu'ils soient en fer ou en maçonnerie. On donnera à ces poutres une grande hauteur, favorable d'ailleurs au contreventement. La semelle inférieure sera horizontale; la semelle supérieure sera relevée de manière à présenter un point haut au milieu et à ménager de part et d'autre une pente de 3 p. 100 (3 cm. par m.) pour l'écoulement des eaux.

Les solives en fer à T, qui sont en travers des poutres, seront écartées de 1 m. à 1,20 m., ce qui permet de les hourder en béton armé de 8 cm. d'épaisseur.

208. Charpentes en rotonde. — Les édifices appelés *rotondes* ne sont généralement pas, malgré leur nom, établis sur un plan circulaire, en raison des difficultés que présenterait la construction de la toiture et même du tambour.

On les construit sur plan polygonal, les piliers occupant les sommets et supportant la retombée des demi-fermes rayonnantes. Il est souvent commode de disposer un lanterneau facilitant l'assemblage de ces diverses demi-fermes.

Les pannes forment elles-mêmes des polygones concentriques, constituant de véritables ceintures, qui contribuent à résister aux poussées et qui permettent de supprimer les tirants le plus souvent.

§ 4. — FERMES A EXTRADOS POLYGONAL ET EN VOUTE

209. — Pour ne pas avoir des pans de toiture mesurant une trop grande longueur suivant la plus grande pente, on peut briser l'arbalétrier, la ferme et la toiture présentant alors un profil polygonal, quelle que soit d'ailleurs la forme de la semelle inférieure.

a) Nous en donnons un exemple emprunté à un grand hall des ateliers Lecourbe.

La portée de la ferme est de 24,24 m.; l'écartement mesure 10,20 m. Certains côtés du contour polygonal atteignant près de 6 m., on a placé des pannes intermédiaires soutenues par des biellettes verticales et des tendeurs obliques comme nous en avons déjà rencontré l'application.

La ferme est supportée par des potelets métalliques d'environ 3 m. de haut reposant eux-mêmes sur des piliers en béton armé qui sont reliés par la haute poutre de même nature, servant de chemin au pont roulant.

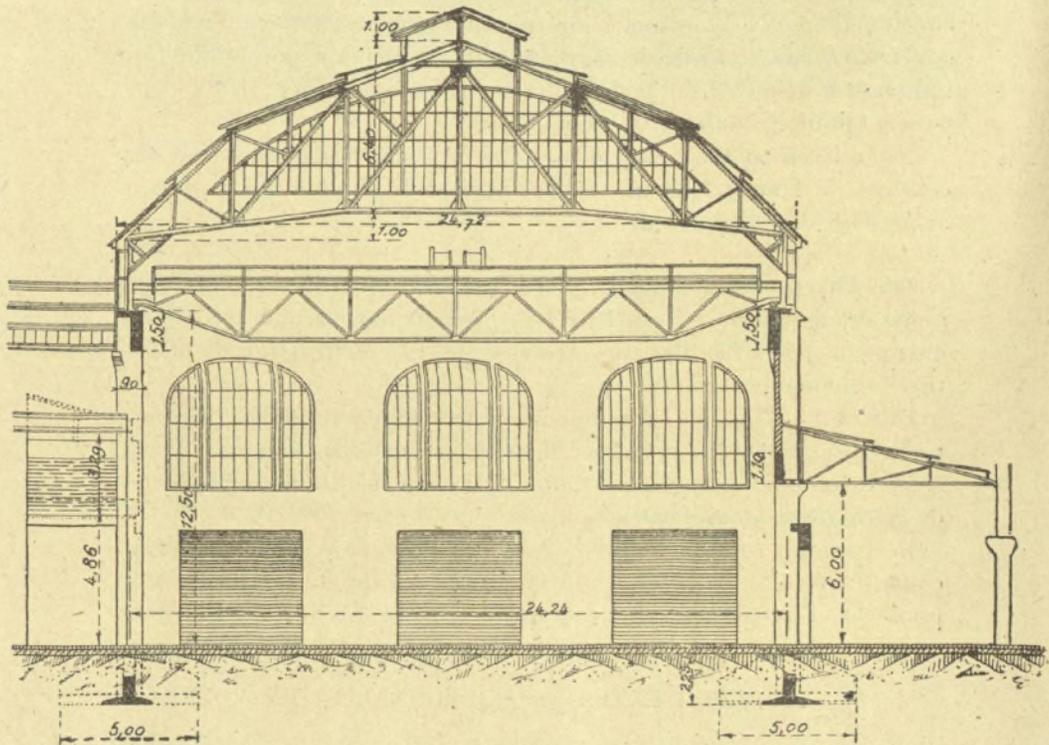


Fig. 87. — Ateliers Lecourbe.

210. *b*) *Voûtes métalliques.* — On a construit de véritables voûtes métalliques, notamment pour des halles de gare. Nous citerons notamment la magnifique charpente de 120 m. de portée et 26,90 m. de hauteur de la gare Terminus à Philadelphie, dont les naissances sont au niveau des quais, ce qui a permis d'équilibrer les poussées, les poutres du quai servant de tirants.

Ces poutres elles-mêmes supportent un tablier métallique couvrant deux étages inférieurs.

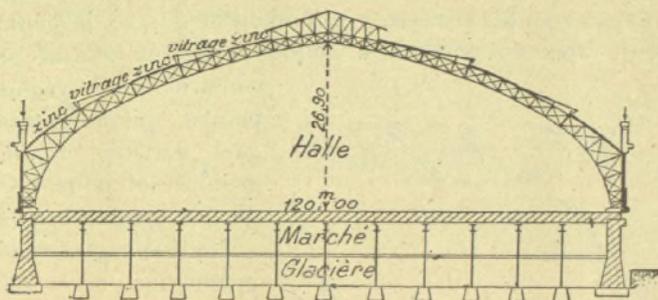


Fig. 88. — Gare Terminus à Philadelphie.

211. c) Hangars en voûte pour dirigeables. — Plus récemment on a été conduit à construire des voûtes métalliques pour des hangars de dirigeables, la forme courbe étant à peu près imposée par le gabarit des carènes de ballon.

Ici, la portée est relativement modérée — on s'est contenté de 24 m. jusqu'ici — mais la hauteur atteint 28 à 30 m.

Dans ces conditions, on peut constituer deux demi-fermes en consoles, comprenant chacune un pylône et un demi-arc formant un ensemble solidaire.

On placera trois rotules, à la clef et aux deux pieds de pylônes, ce qui assure les points de passage de la poussée, et des réactions d'appui.

L'équilibre est facile à établir, car le poids total P , la poussée horizontale Q à la clef, et la réaction oblique R du point d'appui convergent nécessairement en un point S .

Ces trois forces globales étant déterminées, il est également facile de trouver les moments dans une section quelconque.

Pour cela, on considère chaque panneau du treillis comme un voussoir dont on peut évaluer le poids et la surcharge. On construira alors un polygone funiculaire passant par A et par B (pied d'un pylône et rotule du sommet).

On sait que le moment dans une section quelconque se détermine en mesurant la différence d'ordonnées de ce funiculaire et de la courbe moyenne, et en multipliant cette différence d'ordonnées par la poussée Q .

212. c) Voûtes en béton armé. — Pendant la guerre, la pénurie de métal et de bois ont conduit à employer le béton armé pour la construction de vastes charpentes, soit pour des hangars d'avions et de dirigeables, soit pour des usines de très grande importance.

Les hangars d'avions, en particulier, nécessitent des ouvertures d'accès sinon très hautes, du moins très larges, ce qui entraîne à établir des charpentes de grande portée (au moins 40 m.) sans appuis intermédiaires.

MM. Limouzin et Freyssinet ont résolu le problème en construisant une série d'arcs paraboliques de 46 m. de portée dont les naissances, au niveau du sol, s'appuient directement sur des massifs de fondation en béton.

Ces arcs de voûtes sont réunis par une dalle courbe de 6 cm. formant un berceau continu à l'intrados.

La ferme d'entrée est barrée par une traverse horizontale servant de linteau à la porte roulante. Dans ce but elle se prolonge de part et d'autre sur des pylônes afin d'assurer le déplacement latéral des vantaux.

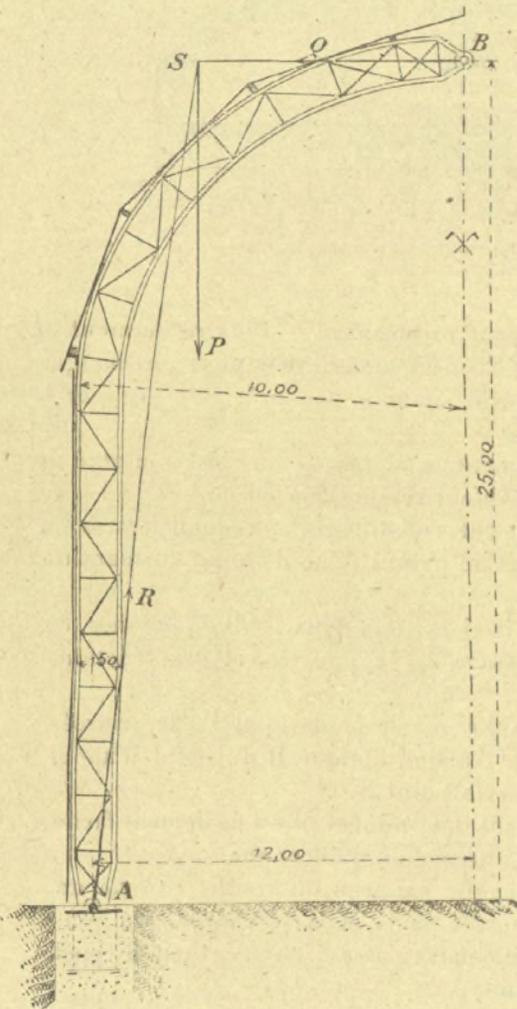


Fig. 89. — Ferme à rotules pour hangar de dirigeables.

Au-dessus de cette poutre, des potelets divisent le segment courbe pour recevoir les châssis vitrés.

213. d) Hangar en ciment armé pour dirigeables. — On pourrait constituer en ciment armé une voûte en console analogue à celle de

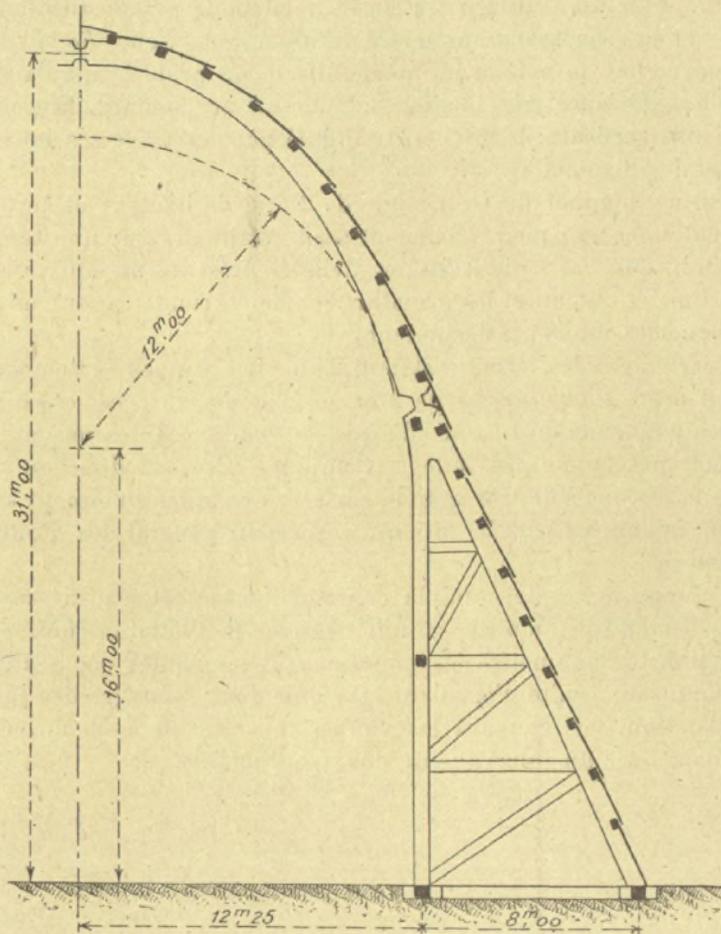


Fig. 90. — Hangar pour dirigeable en ciment armé.

la figure 89. Toutefois M. Lossier a donné du problème une solution qui semble meilleure.

On conçoit en effet que les moments fléchissants prennent des valeurs considérables près des reins, par cela même que la courbe

des pressions, partant de la rotule inférieure, au pied du pylône, donne une très grande différence d'ordonnées avec l'arc moyen. On aura donc un avantage certain en rendant le pylône absolument rigide et en reportant la première rotule à la naissance de la voûte.

Dans ce but, le pylône lui-même affecte un profil triangulaire, la semelle extérieure très inclinée comme un arc-boutant, la semelle intérieure verticale; le tout est triangulé par des traverses horizontales et des diagonales.

C'est au sommet de ce triangle de 26 m. de hauteur et de 8 m. d'empannement au pied, fortement scellé d'ailleurs sur une semelle de béton, que s'articule la voûte. Celle-ci présente un équarrissage de 90 cm. \times 30 cm. et les armatures en aciers ronds varient suivant la valeur des moments fléchissants.

L'écartement des fermes est de 6,25 m. Les pannes également en ciment armé sont écartées de 2 m. et la couverture est constituée par des panneaux de 10 mm. d'épaisseur raidis par des nervures et s'emboîtant comme des tuiles mécaniques. Ce sont donc de véritables tuiles, mais de très grande surface. Ces tuiles en ciment armé ont été imaginées par M. Minard, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

On remarquera que, dans la construction en béton armé sur de vastes dimensions, on ne saurait négliger la dilatation qui serait susceptible de soumettre les matériaux à des efforts dépassant de beaucoup leur limite d'élasticité. On doit donc ménager des joints de dilatation, en coupant les voûtes tous les 30 à 50 m., dans leur plan, avec un intervalle de deux centimètres.

CHAPITRE IX

DE LA COMPOSITION DES FAÇADES

§ 1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — De l'harmonie qu'on doit rechercher dans la construction industrielle. — Répartition des masses dans le sens de la hauteur. — La symétrie. — De l'influence des lignes horizontales et verticales sur le caractère de l'édifice.

§ 2. DES DIVISIONS HORIZONTALES DE LA FAÇADE. — Le soubassement. — Le corps principal. — Le couronnement.

§ 1. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

214. De l'harmonie que l'on peut rechercher dans la construction industrielle. — *a*) Encore que la construction d'une usine ou d'un établissement industriel quelconque soit dominé par le point de vue économique, cette considération n'exclut pas, de la part de l'ingénieur ou de l'architecte, la préoccupation de mettre sur pied un ensemble harmonieux. C'est encore faire œuvre d'art de grouper les masses dans un équilibre qui satisfasse l'œil; d'accentuer le caractère de chacune des parties de l'édifice, en mettant en évidence sa destination; d'employer enfin les matériaux judicieusement, de manière à atteindre, naturellement et par des moyens simples, un effet de mesure et de variété où apparaît la personnalité du constructeur.

b) Tout peut coopérer à cette impression : la silhouette et le mouvement des toitures; la division des façades; le dispositif des baies; les oppositions de couleur, de lumière et d'ombre, toutes choses qui ne coûtent rien, ou presque rien, qu'un peu d'ingéniosité dans la conception et une étude soigneusement élaborée.

Nous venons d'examiner un à un, dans ce qui précède, les divers

éléments de la construction : il nous reste à les grouper pour arriver à l'effet d'ensemble que nous voulons réaliser. C'est l'étude de la composition des façades qui nous y conduira.

c) Une façade comprend une surface verticale percée de baies, offrant par conséquent une succession de pleins et de vides, et où certains détails de construction mettent en évidence des lignes verticales qui sont les chaînes et les contreforts, et des lignes horizontales qui sont les bandeaux et les corniches.

215. De la division et de la répartition des masses. — Dans le sens de la hauteur, une construction quelconque comporte trois divisions principales : le *soubassement*, le *corps de l'œuvre* et le *couronnement*.

Dans le sens horizontal, les fenêtres et les trumeaux qui les séparent forment également une succession qui peut être régulière et uniforme.

Cette tranquille ordonnance, toutefois, d'ouvertures toutes semblables et de trumeaux égaux, n'est pas sans monotonie quand elle s'étend sur une grande longueur. On peut couper cet ensemble en formant plusieurs groupes d'ouvertures, constituant comme autant de corps de logis distincts, séparés par des chaînes verticales, accentués parfois par des saillies et des retraites (*avant-corps* et *corps en ailes*), et par le mouvement des toitures, pourvu que cette répartition des masses soit justifiée par la distribution intérieure.

216. De la symétrie. — a) Même dans cette diversité, on peut observer une symétrie complète.

Cette symétrie s'impose assurément dans les monuments publics; mais dans un bâtiment industriel dont les diverses parties répondent à des besoins très différents, il n'y a pas lieu de rechercher l'application rigoureuse de ce principe qui conduirait souvent à des absurdités, comme les fausses-baies que l'on garnit de persiennes dormantes ou de volets qui ne sont eux-mêmes que des trompe-l'œil.

b) Toutefois, le défaut de symétrie ne doit pas aller jusqu'au désordre et à l'incohérence. Il convient d'assurer à une façade une certaine régularité, au moins dans chacune des masses qui la composent : régularité dans la distribution des lignes verticales et horizontales; les baies elles-mêmes peuvent être de formes et de

dimensions différentes, pour satisfaire aux divers besoins; c'est ainsi que des ateliers ou des bureaux de dessinateurs auront de larges baies vitrées, beaucoup plus grandes que la fenêtre d'un logement; mais ces baies doivent appartenir à la même famille, si l'on peut parler ainsi, comme forme générale et nature de l'encadrement, de telle sorte que l'observateur qui promène les yeux sur cet ensemble n'y trouve pas un assemblage discordant de membres épars, mais la réunion d'organes équilibrés qui constituent bien manifestement un même tout.

217. De l'influence des lignes horizontales et verticales. — Les lignes horizontales et verticales forment l'ossature de la construction. Suivant la prédominance des unes ou des autres, elles sont susceptibles de modifier grandement le caractère général de celle-ci.

C'est, en effet, par suite d'une illusion d'optique bien connue, qu'une série de lignes parallèles tracées sur une surface et bien accentuées fait paraître l'édifice plus allongé qu'il n'est en réalité dans le sens de ces lignes.

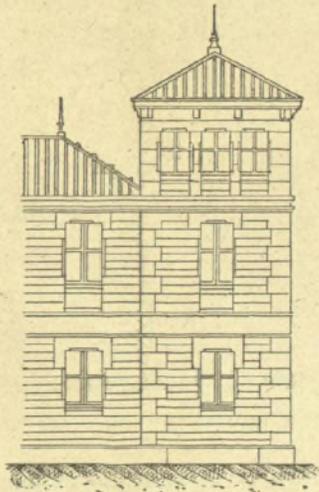


Fig. 91. — Lignes horizontales.

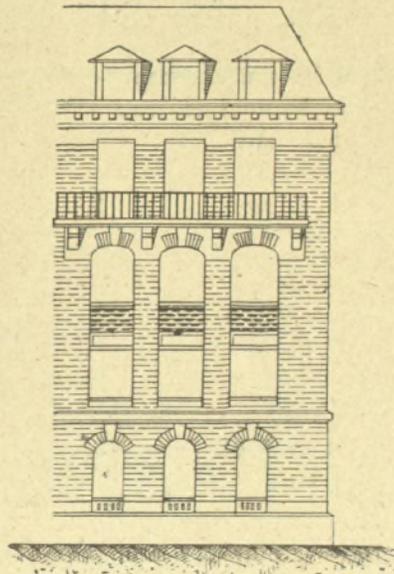


Fig. 92. — Lignes verticales.
Bureaux du Métropolitain (Quai de la Râpée).

Multiplier les bandeaux horizontaux, sans les couper par des chaînes verticales rapprochées, c'est provoquer l'impression que le bâtiment est écrasé et s'étale horizontalement (fig. 91).

Supprimer les lignes horizontales, au contraire, en mettant en évidence des chaînes verticales continues de haut en bas, c'est donner à la construction une allure élancée vers le ciel (fig. 92). On sait tout le parti qu'on a tiré de ce système dans l'architecture gothique.

La forme et la grandeur des baies elles-mêmes interviennent pour modifier le caractère de l'édifice et son aspect général : des ouvertures petites et rares font paraître un édifice massif et lourd ; il devient svelte, au contraire, si la surface des vides est grande par rapport aux pleins.

Ce sont là des règles générales, applicables à toutes les constructions de quelque nature qu'elles soient.

Nous allons voir dans quelle mesure elles peuvent servir à caractériser plus spécialement un établissement industriel, une usine.

§ 2. — DES DIVISIONS HORIZONTALES DE LA FAÇADE

218. Du soubassement. — Nous avons dit que le bâtiment se divise dans sa hauteur en trois parties : le soubassement, le corps et le couronnement.

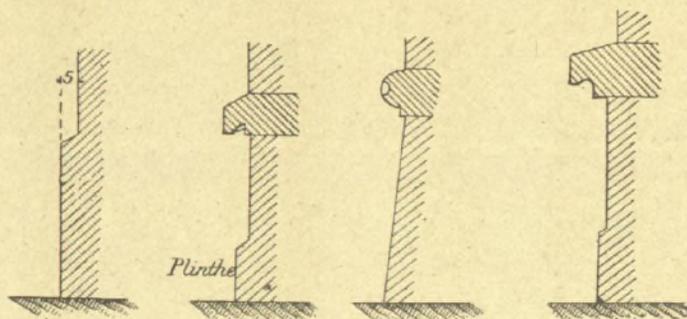


Fig. 93. — Profils de soubassement.

Dans la plupart des constructions industrielles, on se contentera, comme soubassement, d'un socle de 1 m. à 1,50 m. de haut, en saillie de 0,05 m. environ sur le nu du mur qu'il supporte, et

constitué au moyen de moellons de choix, rustiqués et laissés apparents, en assises réglées le plus souvent. Parfois même, le soubassement est marqué par un simple enduit en ciment.

On accentuera plus fortement cette partie de la construction en la couronnant par un bandeau robuste, avec goutte d'eau et, dans

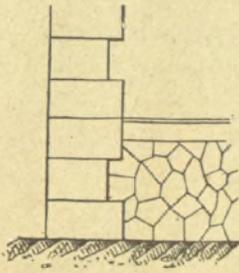


Fig. 94.

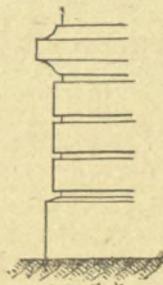
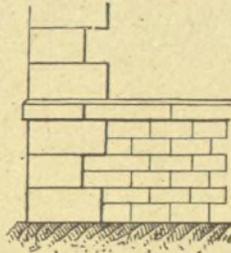
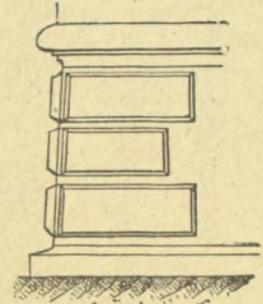


Fig. 95.



ce cas, on dessinera en outre une plinthe saillante en matériaux durs, sur 0,25 m. à 0,30 m. de hauteur, au pied du soubassement.

C'est dans le soubassement qu'on ouvrira les soupiraux de cave et les jours des sous-sols.

Si l'édifice a une grande hauteur, il convient de *donner au soubassement une importance qui y corresponde, en y comprenant tout le rez-de-chaussée.*

Ce soubassement de grandes dimensions aura lui-même une plinthe montant jusqu'à l'appui des premières fenêtres. On donnera au parement du mur un appareil robuste de moellons d'assises rustiqués, par exemple; peu ou point de chaînes verticales, mais un bandeau de couronnement robuste séparant nettement cette base solide du reste de l'édifice.

219. Le corps principal. — Le corps principal de la façade, c'est-à-dire la partie comprise entre le soubassement et le couronnement de l'édifice, doit présenter une certaine unité dans ses dispositions.

Il peut comprendre plusieurs étages séparés par des bandeaux horizontaux correspondant aux planchers, mais on réalisera plus nettement l'unité nécessaire en supprimant ces bandeaux, ou en leur donnant peu d'importance tout au moins, et en reliant les divers étages, au

contraire, par des chaînes verticales continues, des pilastres ou des contreforts.

On y parvient encore sans recourir à ces saillies spéciales, en montant du haut en bas les trumeaux compris entre les tableaux des baies, les allèges étant en reculement, comme des panneaux de remplissage continuant le vide des fenêtres (voir fig. 92).

220. Le couronnement. — En principe, le couronnement est constitué par une corniche. Toutefois, lorsque la toiture se prolonge

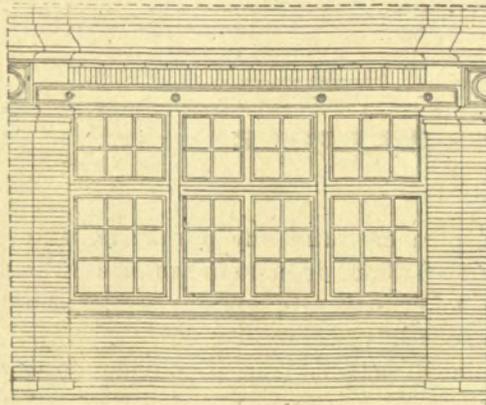


Fig. 96.

en dehors des murs, cette toiture peut former à elle seule le couronnement.

D'autre part, au contraire, on peut donner une grande importance au couronnement en complétant la corniche par un entablement complet, et même par un étage spécial qu'on nomme un attique, dont nous verrons l'organisation tout à l'heure; dans l'ossature générale de la façade, les baies elles-mêmes occupent toute la largeur entre ces piliers ou pilastres qui en constituent ainsi les jambages.

Le linteau lui-même est formé par un poitrail en fer engagé sur les piliers, et l'allège est en léger recul de manière à ne pas interrompre les lignes verticales tracées par les arêtes de ces piliers (fig. 96).

CHAPITRE X

ÉLÉMENTS DES FAÇADES

§ 1. DES BANDEAUX HORIZONTAUX. — Différents profils en pierre et en briques. — Bandeaux brisés ou courbes.

§ 2. DES COURONNEMENTS ET DES CORNICHES. — Entablement complet; corniches architravées; corniches simples. — Mode de construction.

§ 3. DES FRONTONS ET PIGNONS. — Frontons classiques. — Pignons du moyen âge ou flamands. — Rampants continus; rampants à redans.

§ 4. ENSEMBLE DE LA FAÇADE. — Façades à pilastres de grande hauteur.

§ 1. — DES BANDEAUX HORIZONTAUX

221. — *a*) Les bandeaux horizontaux répartis sur la hauteur des murs indiquent logiquement l'existence à l'intérieur du bâtiment d'un élément de construction établi horizontalement, un plancher par exemple.

Le bandeau peut être alors disposé en dessous de la travure qu'il est naturel de faire reposer sur une assise composée de matériaux de choix. On peut également placer le bandeau en about de la travure, et il précise alors l'épaisseur du plancher.

Parfois, les ceintures horizontales suivent la ligne des appuis des fenêtres et l'accusent d'un trait continu. C'était une pratique assez répandue à l'époque de la Renaissance qui est caractérisée par le grand nombre des bandeaux horizontaux.

b) Dans un bâtiment industriel, on est conduit par les besoins d'économie, et aussi pour atteindre la simplicité que comporte ce genre de construction, à ne les point multiplier au contraire, et à les réserver pour la division de la façade en un petit nombre de masses principales.

Si, d'ailleurs, l'édifice comprend plusieurs étages d'égale importance, des bandeaux régulièrement espacés à hauteur de chacun des planchers ne laisseraient pas de produire un effet de monotonie qu'il importe d'éviter.

Il est préférable alors de ne placer ces tablettes qu'au-dessus du soubassement, constitué généralement par le rez-de-chaussée, et au-dessus du corps principal qui peut comprendre plusieurs étages.

c) Il va de soi que les bandeaux, bien qu'exécutés de façon analogue aux corniches qui couronnent le bâtiment, doivent avoir

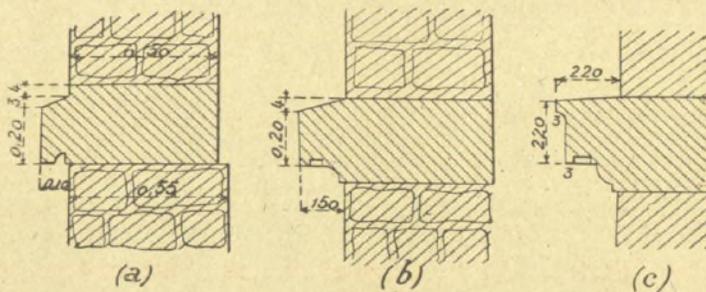


Fig. 97.

une importance moins grande, marquée par une plus faible hauteur, une plus faible saillie et un profil moins compliqué.

Ils doivent donc, en définitive, être traités sobrement.

d) Ce sera, par exemple, une simple tablette en pierre, en béton de ciment, ou en briques de 12, 15 ou 20 cm. de hauteur, avec une saillie qui peut n'être que de 3 à 5 cm. sur le nu du mur. On abat leur face supérieure en pente douce, pour faciliter l'écoulement de l'eau qui doit, en outre, être arrêtée par un coupe-larme sous la face inférieure (fig. 97).

Il existe évidemment une grande variété de profils, où l'ornementation dépend de l'habileté et du goût de l'architecte qui les combine.

e) Souvent, dans la construction industrielle, on s'inspire des modèles laissés par l'architecture du moyen âge, où, par des procédés simples, on réussit à donner une impression de force et de robustesse. La figure 98 peut donner une idée de ce genre de profils qui comportent généralement une face supérieure inclinée à forte pente, et terminée par une mouchette qui se raccorde en dessous

avec le nu du mur par un profil à contre-pente plus ou moins mouluré.

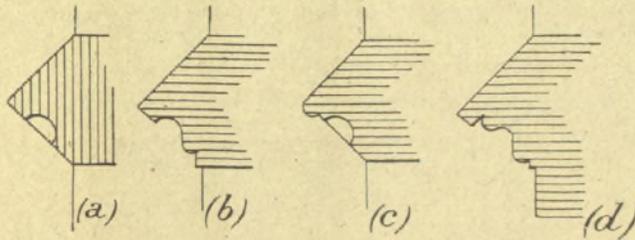


Fig. 98.

222. **Bandeaux en briques.** — a) L'emploi de la brique ne se prête pas aux saillies considérables pour les bandeaux; par suite de ses faibles dimensions, elle ne saurait constituer des encorbellements brusques et l'on doit procéder par assises successives se débordant légèrement.

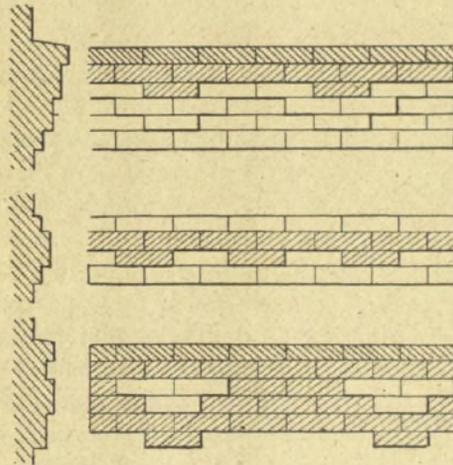


Fig. 99.

On les compose de plusieurs assises superposées, présentant des saillies progressives. Mais il est bon que la masse principale du bandeau soit formée par un rang de briques posées de champ sur 11 ou 22 cm. de hauteur.

b) L'emploi de briques de plusieurs couleurs est un élément précieux d'ornementation.

On peut obtenir un effet d'ombres d'un aspect agréable, en posant

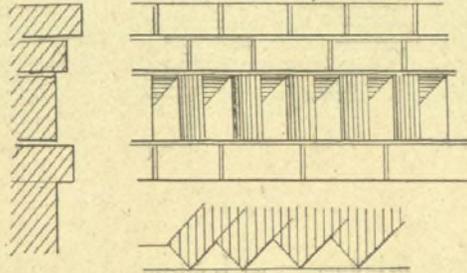


Fig. 100.

ce rang de briques en dents de scie de 11 cm., ou même de 22 cm. de haut, couronné par un rang de briques à plat de 6,5 cm. (fig. 100).

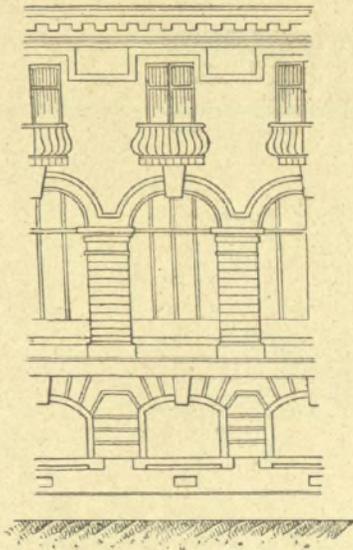


Fig. 101. — Bandeaux brisés et bandeaux courbes.

223. Bandeaux brisés ou courbes.

— On établit parfois des bandeaux ou cordons à une hauteur telle qu'ils rencontrent les piédroits des ouvertures. Au lieu de les interrompre alors, on peut les retourner de manière à envelopper la partie supérieure de la baie.

On a ainsi des bandeaux brisés dont l'emploi donne à la façade une allure plus libre et plus dégagée que lorsqu'elle ne comporte que des lignes droites et rigides.

Il en est de même des bandeaux courbes, accompagnant par exemple les archivoltes qui couvrent certaines ouvertures. La figure 101 donne un exemple de bandeaux brisés et de bandeaux courbes.

§ 2. — DES COURONNEMENTS ET DES CORNICHES

224. Composition d'une corniche. — a) L'élément essentiel du couronnement est la corniche, dont le rôle principal est de garantir les parements extérieurs des murs contre les eaux de pluie qui les frappent directement ou qui, ruisselant sur la toiture, peuvent s'infiltrer éventuellement jusque sur la maçonnerie.

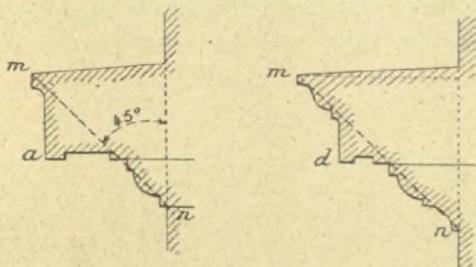


Fig. 102.

b) En principe, une corniche se compose donc d'une tablette posée sur le mur, avec une saillie suffisante pour écarter les eaux. La face supérieure est inclinée pour assurer l'écoulement, et l'on ménage un coupe-larmes inférieur pour arrêter les gouttes avant qu'elles n'atteignent le parement.

Cette tablette s'appelle le *larmier*, *a*.

Pour amortir la saillie, on dispose le plus souvent, en dessous de la tablette, un corps de moulures ou cymaise inférieure, qui fait encore partie de la corniche, et tout l'ensemble est disposé, dans les édifices classiques, de telle sorte que la ligne qui joint l'arête supérieure du larmier à la base de la cymaise, sur le mur, soit inclinée à 45°.

La larmier lui-même peut recevoir des moulures formant cymaise supérieure et qui diminuent la largeur de sa face verticale. La corniche s'affine ainsi, devient plus élégante, mais perd son caractère primitif de robustesse.

c) Notre esthétique est encore tellement la résultante des enseignements de l'art antique, qu'il est impossible de ne pas rappeler les règles issues de cet art, et dont nous n'arrivons pas à nous affranchir complètement.

C'est ainsi que dans nos bâtiments modernes, même les plus simples, nous retrouvons presque toujours des traces du couronnement des monuments grecs, couronnement constitué par ce qu'on appelait l'*entablement*.

225. Entablement complet. — a) L'entablement se justifiait d'ailleurs dans le mode de construction d'alors. Franchissant le vide entre colonnes, à la manière d'un linteau, on jetait une pierre épaisse et solide qu'on appelait l'*architrave*, sur laquelle on posait l'about des pièces transversales analogues aux poutres d'un plancher.

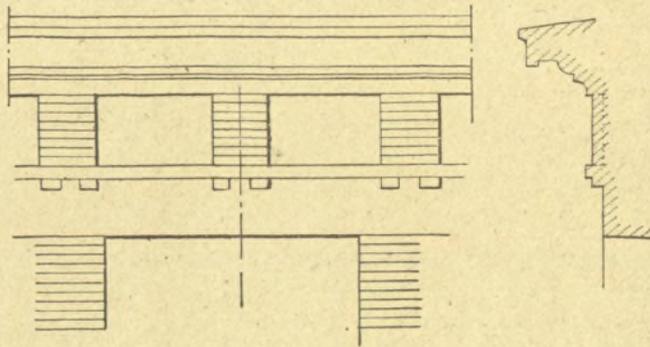


Fig. 103.

Ces pièces et les panneaux servant de remplissage entre elles (métopes), formaient donc au-dessus de l'architrave une bande nouvelle que l'on appelait la *frise* et sur laquelle venait porter la cymaise de corniche, jouant le rôle d'une sablière.

Entre la frise et l'architrave, une baguette saillante accentuait la division. C'est ce qu'on utilise encore sous le nom d'*entablement complet*, et il n'est pas rare que l'on retrouve la trace de cet entablement complet, même dans les constructions les plus simples et les plus dénuées de prétentions architecturales.

b) Notre croquis (fig. 103) en offre un exemple : une assise courant au-dessus des fenêtres et leur servant de linteau joue bien le rôle de l'architrave; elle est recouverte d'une file de briques simulant la cymaise intermédiaire; puis vient la frise coupée par des potelets en briques rappelant les triglyphes antiques, entre lesquels

des métopes carrées semblent toutes prêtes à recevoir une décoration ornementale.

c) Lorsqu'on emploie un entablement complet pour couronner un bâtiment, on lui donne généralement pour hauteur, le dixième de la hauteur du bâtiment lui-même. C'est une règle qui n'a rien d'absolu, bien entendu.

226. *Corniches architravées.* — Dans une construction modeste, on supprime la frise, et le dispositif prend le nom de *corniche architravée*; sa hauteur totale est comprise entre $\frac{1}{15}$ et $\frac{1}{20}$ de celle de l'édifice qu'elle couronne, et la corniche occupe à elle seule les deux tiers de l'ensemble.

227. *Corniches simples.* — Enfin, les bâtiments ordinaires et construits très économiquement comporteront une simple corniche sans architrave.

La hauteur de la corniche est alors le $\frac{1}{20}$ de celle de l'édifice; mais on peut cependant lui donner une importance un peu plus grande suivant le caractère de la construction.

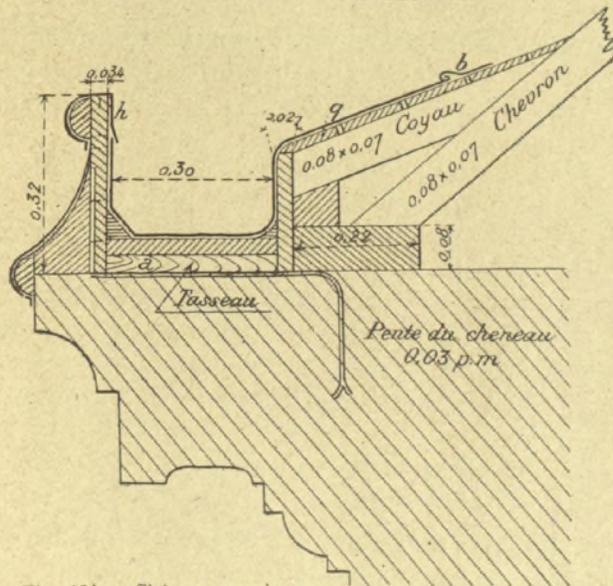


Fig. 104. — Chéneau en zinc.

228. Mode de construction. — La corniche est généralement placée à l'extrême sommet du mur, en avant de la sablière de la charpente du comble, et elle supporte le chéneau destiné à recueillir et à écouler les eaux de la toiture.

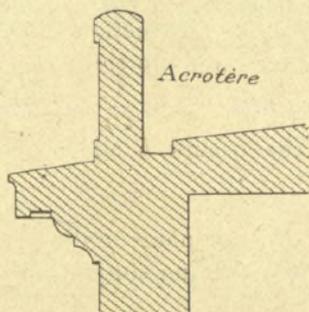


Fig. 105. — Corniche avec mur à bahut.

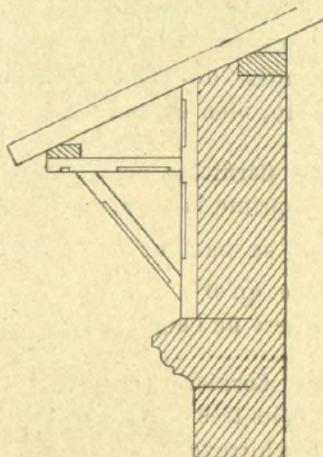


Fig. 106.

Quelquefois, cependant, dans le cas d'un toit plat en arrière ou d'une terrasse, la corniche est surmontée d'un mur à bahut ou d'un acrotère, établi au même nu que le mur principal (fig. 105).

Enfin, lorsque la toiture déborde le mur, on peut supprimer la corniche; mais il arrive pourtant que, dans un but décoratif, on en

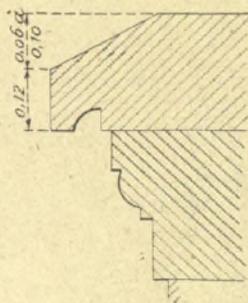


Fig. 107.

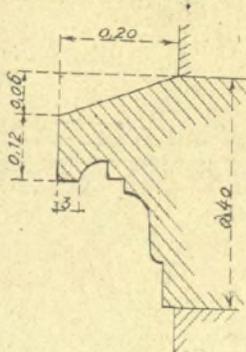


Fig. 108.

conserve des vestiges sous la forme d'un bandeau établi en contrebas et sur lequel, quand la saillie du toit est considérable, on appuie

le pied de quelques contre-fiches soutenant une sablière à l'extrême bord de l'auvent (fig. 106).

De même, lorsque le bâtiment se termine par un étage d'attique,

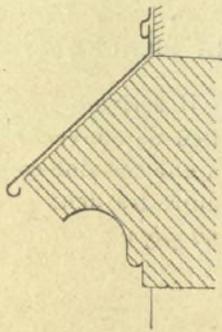


Fig. 109.

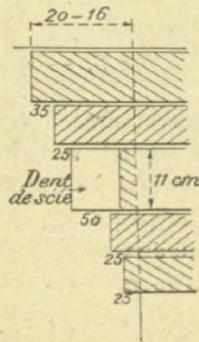


Fig. 110.

la corniche principale est placée entre cet attique et le corps principal de la construction.

Les croquis 107 à 110 donnent quelques profils simples de corniches usitées dans ces différents cas.

229. Matériaux de corniches. — *a)* Les corniches se construisent en pierre ou en brique; on se contente quelquefois, lorsque ces matériaux sont rares, de bloquer la corniche en moellons, maçonnés en *saillie-masse*, ce massif servant de support à un corps de moulures poussées au calibre, en ciment ou même en plâtre.

b) Dans certaines régions, on se contente d'établir, sur un prolongement des entrants de fermes, un coffrage en planches, dont la face extérieure reçoit des bois moulurés, et dans l'intérieur duquel on établit le chéneau en zinc.

c) Lorsque la corniche est en pierre tendre ou même en brique de faible cuisson, il est indispensable, pour empêcher les effets de la gelée, de recouvrir la face supérieure d'une feuille de zinc à bord roulé.

d) La figure 110 se rapporte à une corniche en briques; elle comprend des rangs successifs de faible saillie, mais il doit toujours y avoir un bandeau plus important avec une saillie d'au moins 5 à 6 cm.

Dans notre exemple, cet élément principal est constitué par un rang de 11 cm. de hauteur, en briques posées de champ et en pents de scie.

§ 3. — DES FRONTONS ET PIGNONS

230. Couvertures à deux pans. — *a)* Il arrivera fréquemment, dans la construction industrielle, qu'au lieu de couvrir le bâtiment à quatre égouts, ce qui entraîne toujours une certaine complication dans la charpente, on se bornera à conduire les deux pans principaux jusqu'aux murs terminaux dits *murs pignons*, qui affecteront dès lors la forme triangulaire.

b) Deux cas se présentent alors :

1° *Ou bien la toiture déborde les murs de façade.* — Il est naturel alors de la prolonger de manière qu'elle déborde également le pignon, et il est inutile de recourir à aucune ornementation. C'est la solution la plus économique.

2° *Ou bien on se résout à arrêter la couverture au nu intérieur du mur de pignon.* — Celui-ci doit alors s'élever un peu au-dessus de la couverture, à laquelle on raccorde la maçonnerie au moyen d'un solin en ciment ou mieux en zinc.

Le sommet du pignon exige, dans ce cas, un couronnement quelconque, ne serait-ce que pour protéger la maçonnerie contre les infiltrations.

Ce couronnement peut être constitué, soit par une tablette rampante parallèle à la toiture, soit par une série de redans à tête horizontale. Ces redans forment des gradins susceptibles de faciliter l'accès de la toiture en cas d'incendie (voir la figure représentant l'usine d'Andelsbuch).

231. Les frontons classiques. — Les monuments anciens offrent de très beaux exemples de frontons que l'on pourrait appliquer aux pignons triangulaires que nous avons à construire.

Il n'est pas défendu de s'inspirer de ces modèles dans les ouvrages où l'on ne craint pas de sacrifier un peu à l'ornementation; mais ce serait en général un luxe déplacé. En outre, ce type de frontons s'accommode assez mal des fortes pentes de toiture qu'on est souvent forcé d'adopter dans les usines.

Le fronton classique, en effet, est limité à sa base par un entablement horizontal et le tympan triangulaire qui s'assoit sur cet entablement prend un aspect d'autant plus lourd que sa montée est plus grande.

232. Pignons pratiques. — On s'inspirera donc plus volontiers des exemples laissés par l'architecture du moyen âge ou par l'architecture flamande, qui n'exigent aucune vaine ornementation et réalisent cependant un aspect satisfaisant par les seules combinaisons des lignes de la silhouette.

233. Rampants continus. — Le mur est généralement nu jusqu'aux rampants, égayé seulement par les ouvertures qui y sont percées.

a) Chaque rampant est lui-même couronné par une tablette, et toute la richesse de la construction consistera à donner à cette tablette une importance plus ou moins grande.

La face supérieure peut être plate, on lui donne souvent un profil en dos d'âne *b*.

Afin d'éviter tout glissement, le rampant aboutit à un sommier assis horizontalement à l'angle du pignon et faisant, sur le mur de

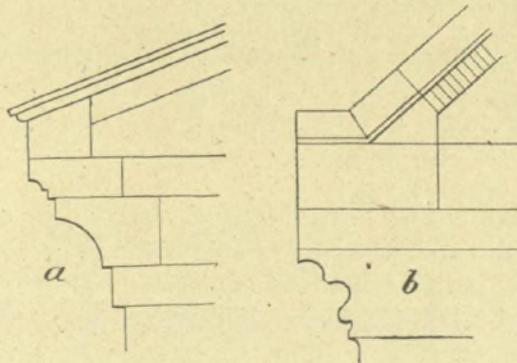


Fig. 141.

face longitudinal, une saillie suffisante pour masquer l'about de la corniche et du chéneau.

b) Ce sommier lui-même peut prolonger la tablette sur sa face supérieure; mais on obtiendra un aspect généralement plus satisfaisant en retournant le profil du rampant en une crossette horizon-

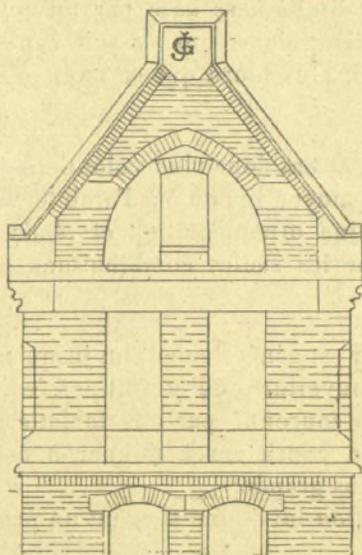


Fig. 112.

table sur laquelle la tablette s'amortit et semble moins susceptible de glisser (fig. 111 *b* et 112).

c) Enfin, au faitage, on interposera entre les deux tablettes un motif un peu volumineux qui servira d'amortissement (c'était ce que les anciens appelaient un acrotère) (fig. 112).

d) La figure 113, qui représente l'usine hydro-électrique d'Andelsbuch, offre un exemple de pignon terminé par une série de redans dont la partie horizontale peut recevoir une tablette (en pierre ou brique), ou peut même être couverte en tuiles.

§ 4. — ENSEMBLE DE LA FAÇADE

234. — Lorsqu'on envisage l'ensemble du bâtiment, l'étude préliminaire de l'avant-projet a permis de préciser les points où les murs de façade seront chargés, tant par les planchers successifs que par les fermes de la charpente.

Les baies seront généralement percées dans les intervalles, et, à moins de raisons très particulières, on superposera ces vides de telle sorte que l'aspect général présente une série de trumeaux pleins alternant avec des files verticales de vides.

Les pleins pourront être renforcés par des chaînes, des pilastres ou même des contreforts, tandis que les bandeaux horizontaux forment des ceintures qui les relient et les tiennent rassemblés en quelque sorte.

235. Façades à pilastres de grande hauteur. — Il convient d'insister sur un système de façades dont l'emploi est si fréquent, lorsqu'il s'agit de bâtiments industriels, qu'il semble en être la caractéristique.

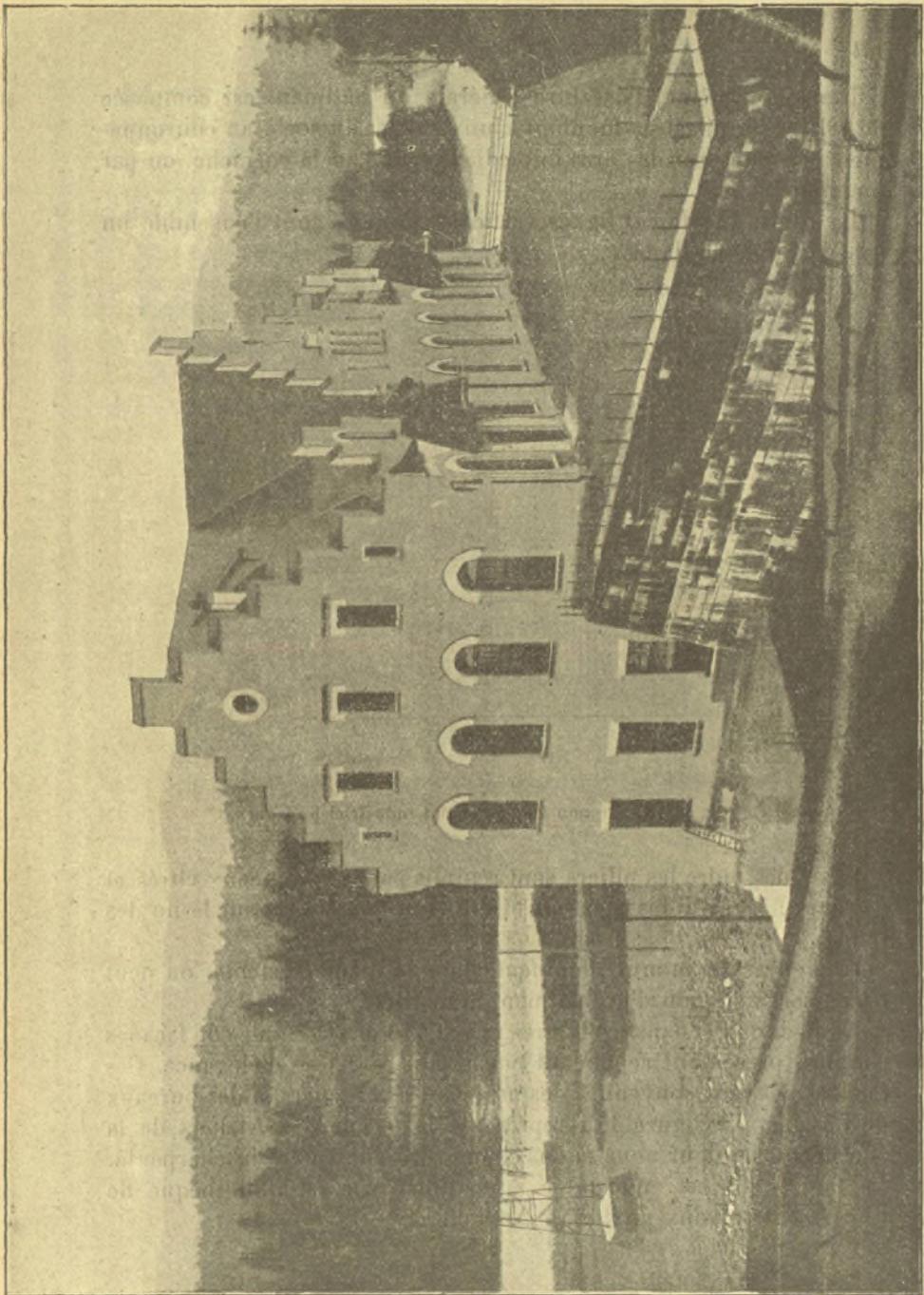


Fig. 113. — Usine hydro-électrique d'Andelsbuch, près de Bregenz (Tyrol). Vue d'ensemble.

Dans ce système, l'ossature générale du bâtiment est composée de piliers ou pilastres montant d'un seul jet du socle au couronnement, et reliés par des arcs immédiatement sous la corniche, ou par un entablement.

La continuité de ces lignes verticales donne à tout l'ensemble un aspect simple et élancé.

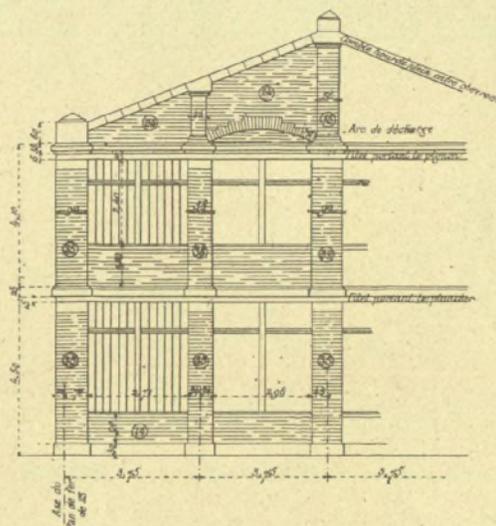


Fig. 114. — Pignon d'un bâtiment industriel à étage.

Les vides entre les piliers sont remplis par les panneaux vitrés et par les allèges qui les séparent et qui sont en retraite sur le nu des piliers.

La figure 114 montre comment, dans le même système, on peut organiser le pignon d'un bâtiment industriel.

Nous donnons dans les figures 115 et 116 des exemples de façades simples, présentant cependant un certain caractère d'élégance. Ces façades peuvent convenir à des usines, à des ateliers, à des bureaux de dessins. La figure 115 représente la façade des Ateliers de la rue Lecourbe dont nous avons donné précédemment la charpente. La figure 116 est empruntée au bâtiment de la bibliothèque de l'École des travaux publics, à Arcueil.

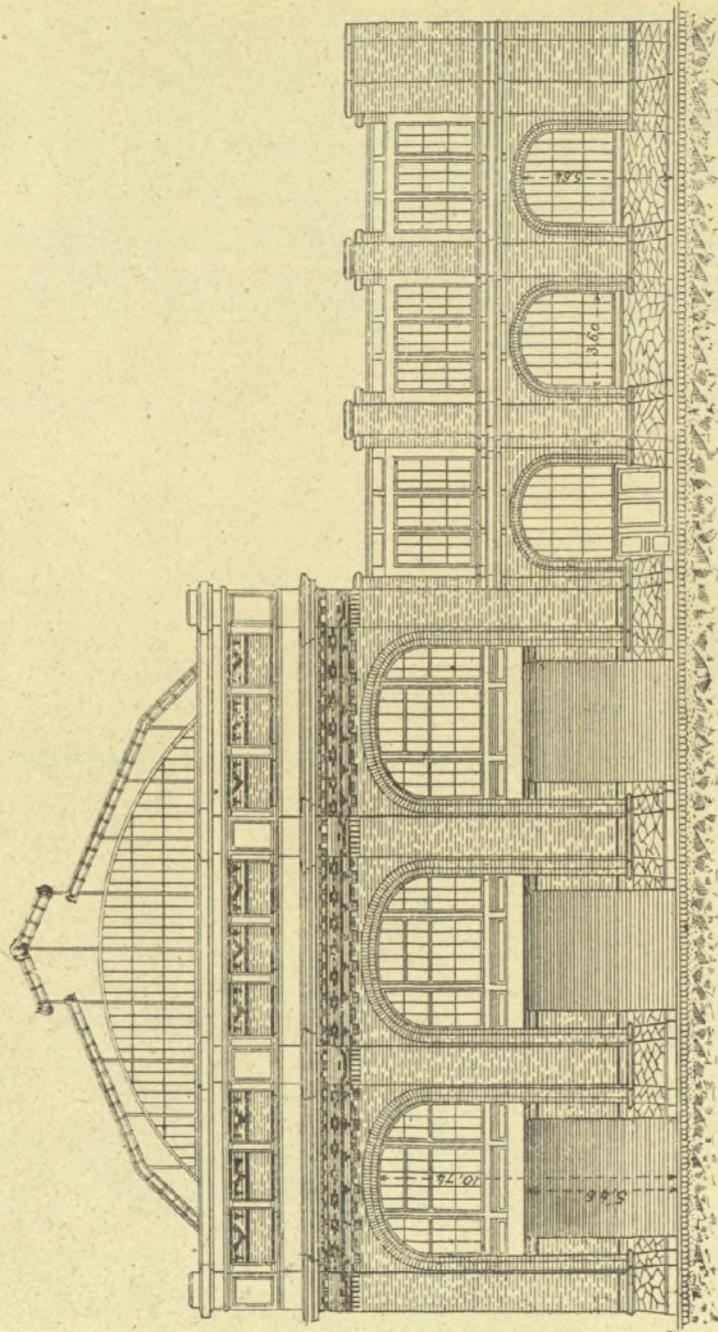


Fig. 115. — Façade ateliers Lecourbe.

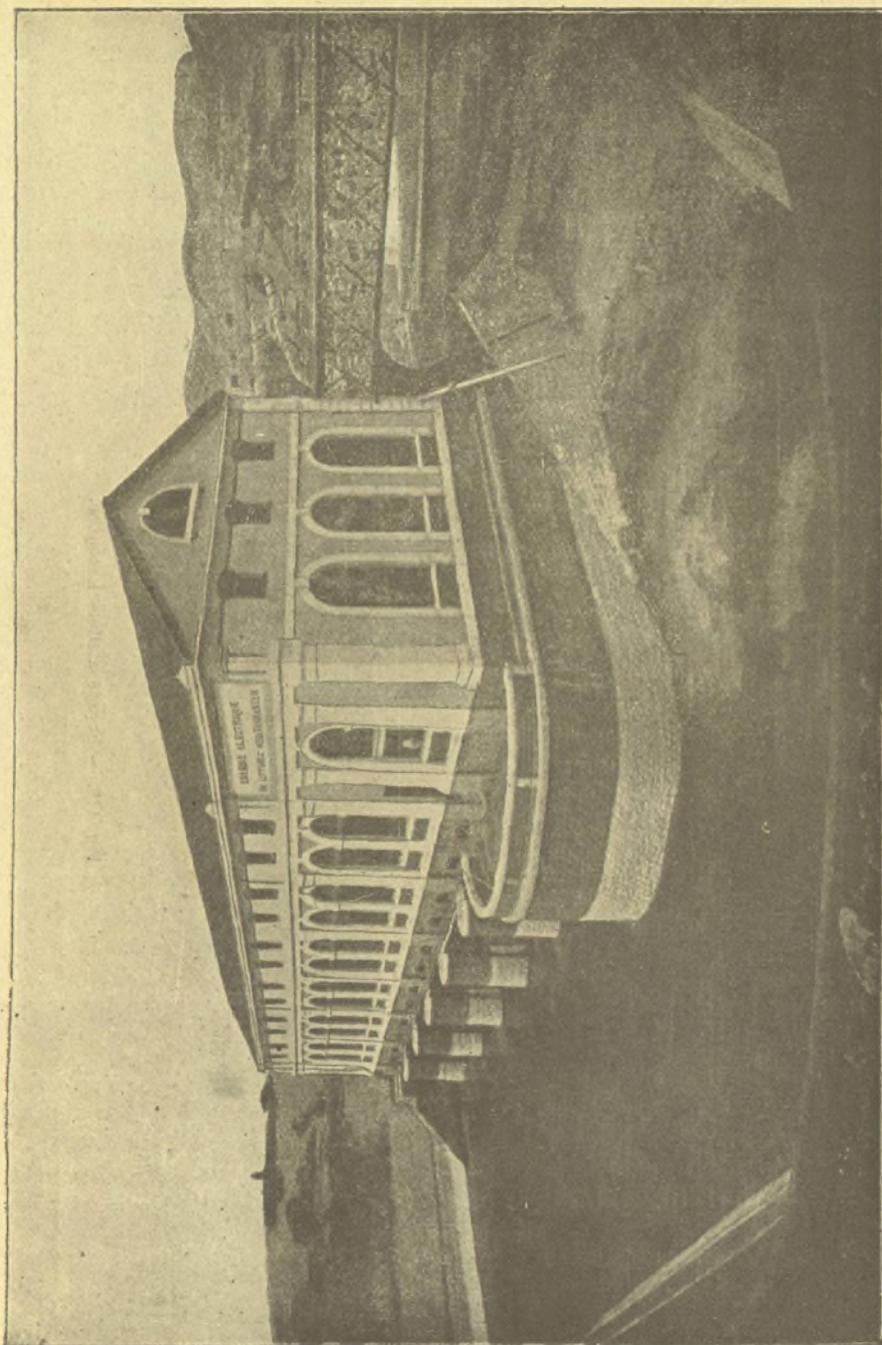


Fig. 113^{bis}. — Usine hydro-électrique de la Brillanne, sur la Duranco (Basses-Alpes) : Vue du bâtiment des alternateurs.

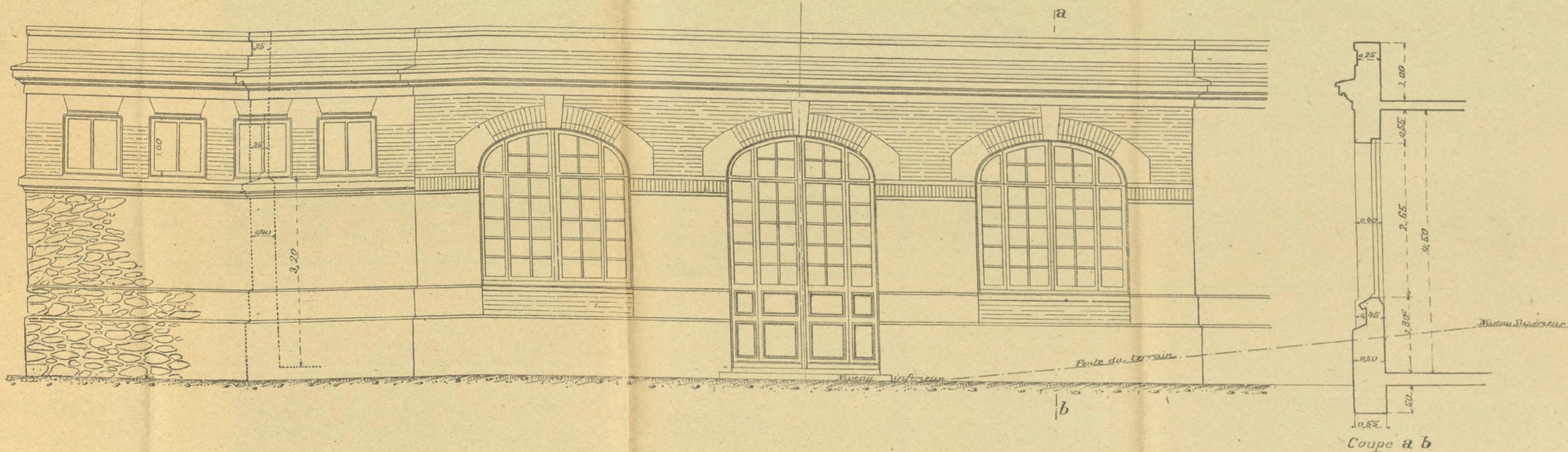
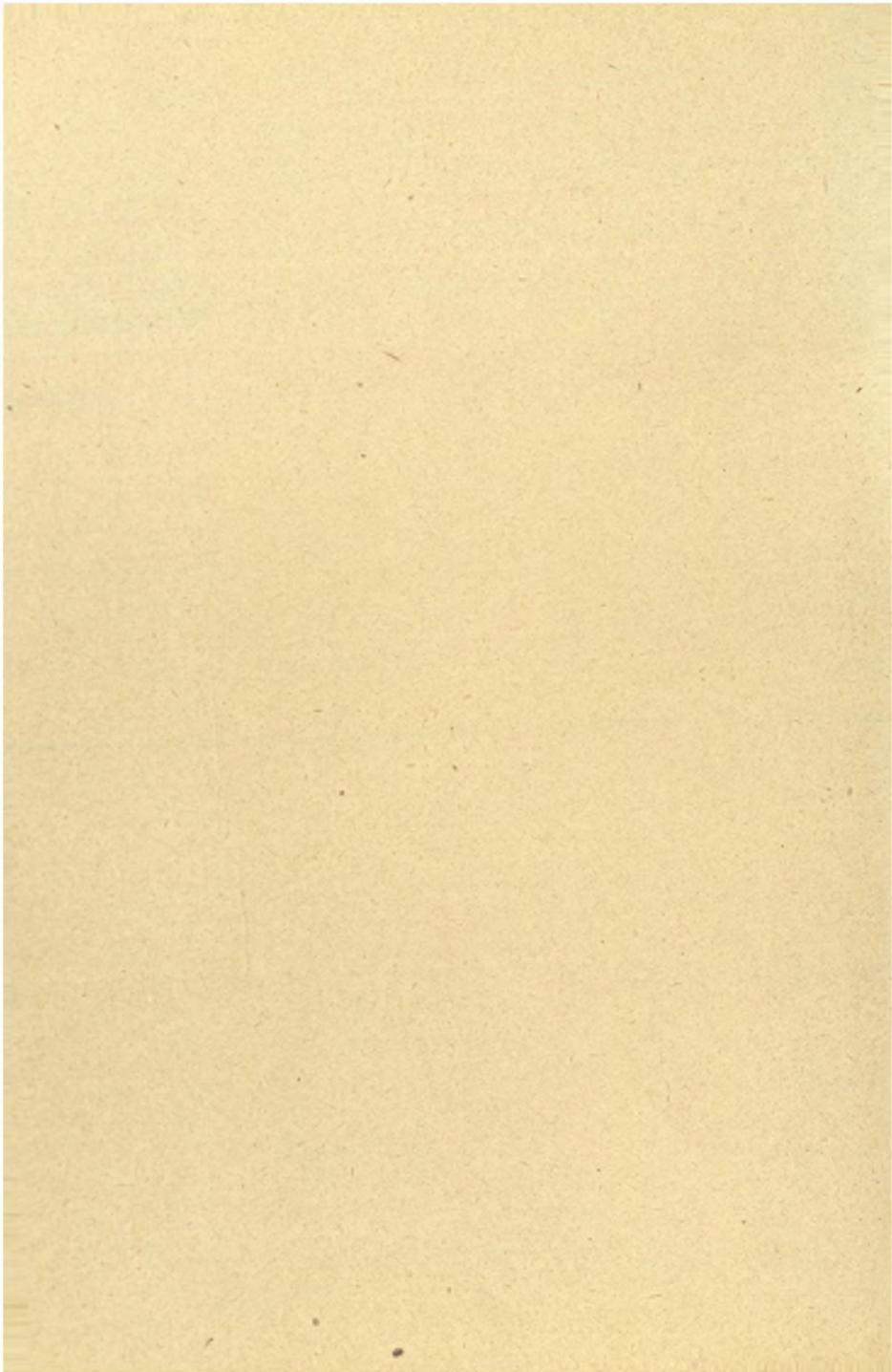


Fig. 116. — Bibliothèque de l'École des travaux publics, à Arcueil.

CONSTRUCTION DES USINES.



CHAPITRE XI

LOGEMENTS ET BUREAUX

- § 1. BUREAUX ET LOGEMENT DU PERSONNEL. — Concierge d'une usine.
- § 2. PAVILLON DE DIRECTEUR OU CHEF D'USINE. — Indépendance nécessaire. — Distribution.
- § 3. LOGEMENTS DE CONTREMAITRES.
- § 4. LOGEMENTS D'OUVRIERS.
- § 5. RÉFECTOIRES.
- § 6. ÉCURIES.

236. — Parmi les bâtiments et organes annexes des usines, nous nous proposons d'examiner les suivants :

- 1° Les bureaux et logements du personnel ;
- 2° Les réfectoires ;
- 3° Les magasins et hangars ;
- 4° Les réservoirs ;
- 5° Les écuries et remises.

Les grandes cheminées pourraient trouver place dans ce chapitre ; mais il nous semble préférable de les réserver et de les étudier quand nous traiterons de l'organisation d'une usine thermique.

§ 1. — BUREAUX ET LOGEMENTS DU PERSONNEL

237. — Sous ce titre, il y a lieu de considérer les habitations et locaux pour :

- a) La direction et les bureaux ;
- b) Logements pour les contremaîtres ;
 - — concierges ;
 - — ouvriers.

238. Direction et Bureaux. — Pour les installations de la direction et des bureaux (*Comptabilité, Dessinateurs, Contrôle*), on prend souvent le parti de les organiser dans les bâtiments de l'usine proprement dite, ce qui peut être la solution la plus économique, lorsque ces installations n'ont pas une très grande importance ou

lorsqu'elles sont placées sur un terrain limité, dans une ville.

Les communications entre les divers services peuvent

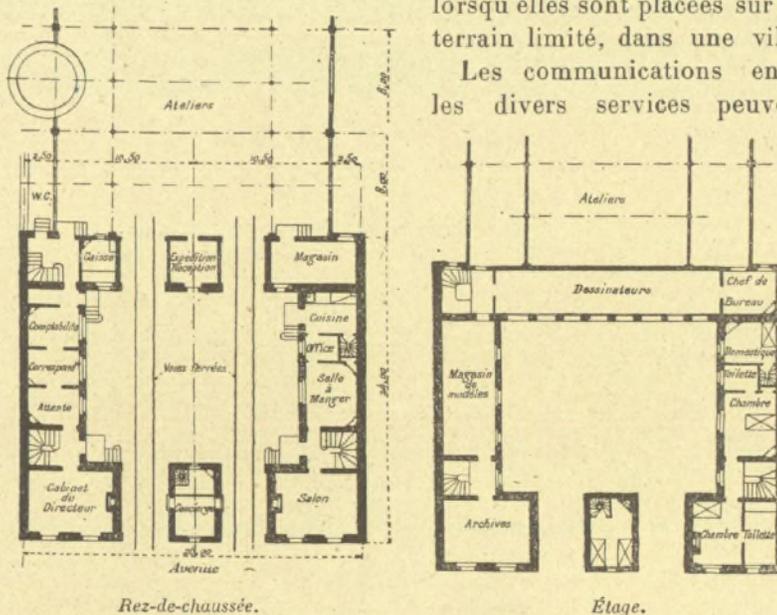


Fig. 117 et 118. — Annexes des Ateliers. Bureaux et logement du directeur.

alors être établies commodément, et, d'autre part, la surveillance constante et le contrôle immédiat de la direction, sur l'ensemble des travaux, sont assurés d'une manière très effective.

On devra porter tous ses soins sur l'aménagement commode des bureaux, en particulier sur l'organisation du chauffage et de l'éclairage.

Il serait même bon de prévoir le nettoyage et l'enlèvement des poussières par le vide, ce qui est facile si l'on dispose d'une force motrice. Le moteur et l'appareil d'aspiration se logent en sous-sol. On dispose une canalisation dans les murs, et, dans chaque salle, cette canalisation débouche par un ajutage à raccord sur lequel il est facile de venir brancher le tuyau souple servant au nettoyage.

239. — Les plans (fig. 117 et 118) donnent un aperçu de ce que peut être un arrangement de ce genre.

La direction et les bureaux forment un vaste ensemble adossé au hall des ateliers. Les bâtiments entourent une cour carrée, traversée par deux allées avec voies ferrées qui, de la rue, pénètrent dans les ateliers et servent, l'une à l'entrée, l'autre à la sortie des marchandises.

Entre les deux entrées, se trouve le pavillon du concierge. L'un des bâtiments bordant la cour à gauche, est uniquement occupé par

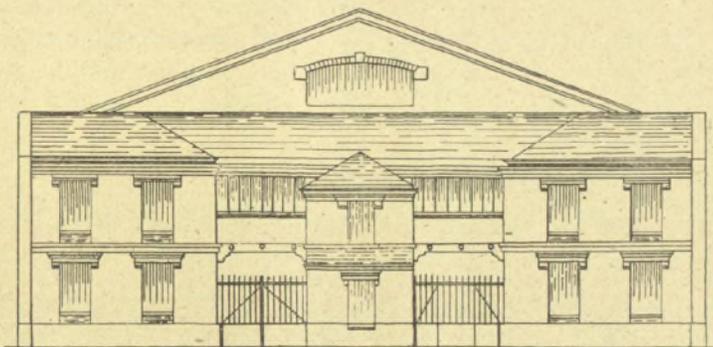


Fig. 119. — Façade sur la rue.

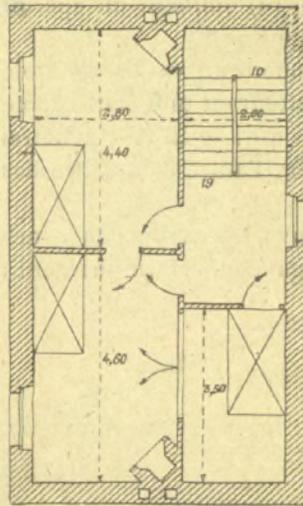
les bureaux, tandis que l'aile droite est consacrée au logement du directeur.

On s'est efforcé, comme on le voit, de rendre ce logement aussi indépendant que possible, et c'est une préoccupation dont il importe de ne pas se départir.

La figure 119 montre le parti très simple adopté pour la façade.

240. Concierge d'une usine. — Sans vouloir donner de règles générales pour l'organisation du logement destiné au concierge d'une usine, on peut dire qu'il doit être disposé de manière à satisfaire aux nécessités de la surveillance et au contrôle des entrées du personnel.

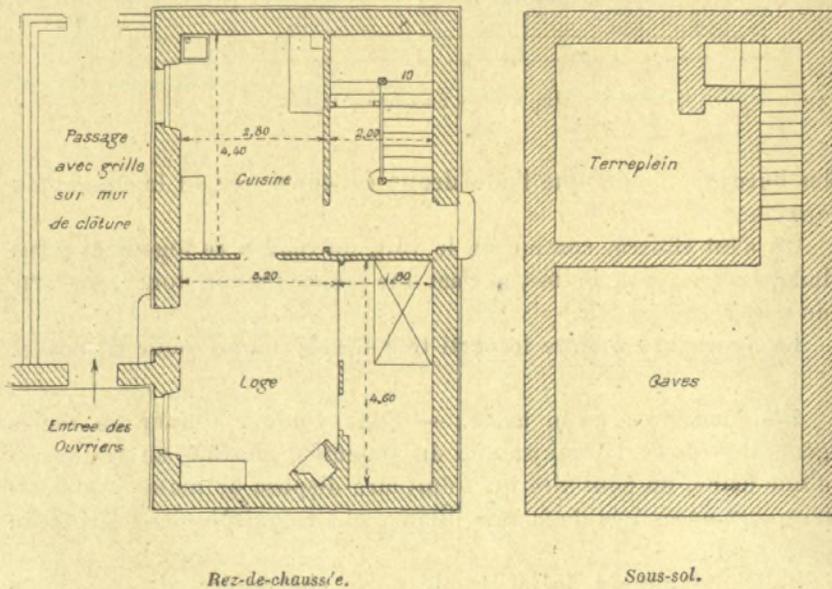
Indépendamment de la grande porte charretière, il est bon de ménager une petite porte forçant les ouvriers à passer devant la



Étage.

loge, comme on le voit, par exemple, sur le petit pavillon représenté sur les figures 120 et 121.

La loge devrait toujours être une pièce spéciale, distincte en quelque sorte du logement proprement dit, qui comporte une cuisine et une ou plusieurs chambres à coucher.



Rez-de-chaussée.

Sous-sol.

Fig. 120. — Logement d'un concierge d'usine.

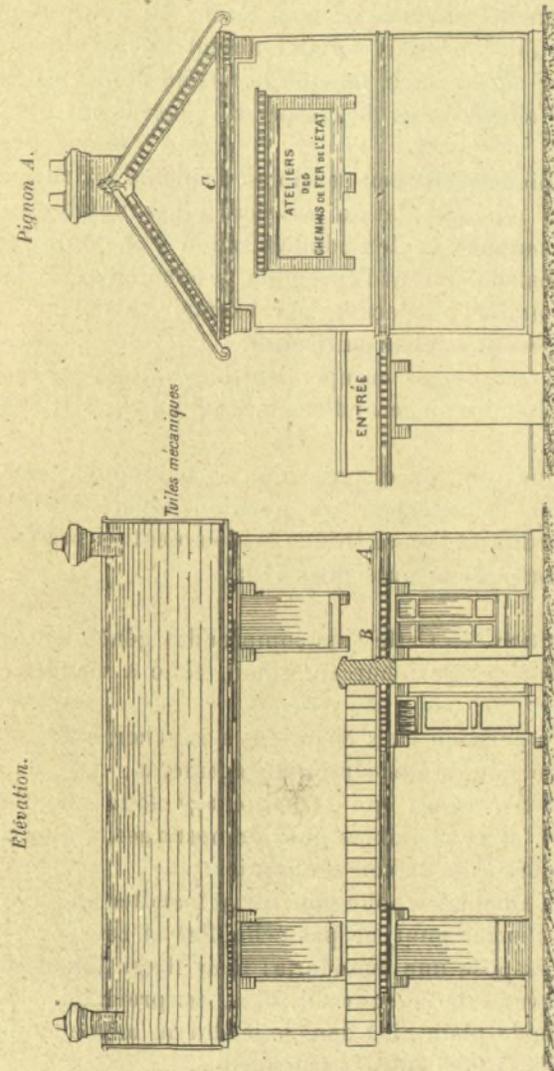


Fig. 121. — Pavillon de concierge.

2. — PAVILLON DE DIRECTEUR OU DE CHEF D'USINE

241. Indépendance nécessaire. — Dans l'installation que nous venons de décrire, le logement du directeur est prévu dans le groupe

même des bâtiments industriels; nous avons dit que c'était là une combinaison qu'il convenait d'éviter autant que possible. On est cependant forcé d'y recourir lorsque le terrain dont on dispose ne permet pas de s'étendre et de disperser les locaux sur une grande surface.

Les inconvénients sont peu sensibles d'ailleurs si, au lieu d'une usine occupant une population ouvrière assez nombreuse, il ne s'agit que des bureaux et de l'administration d'une entreprise

Il suffit de distribuer tout l'ensemble de manière à *séparer nettement le logement*, en le plaçant, par exemple, à l'étage avec une entrée spéciale et un escalier particulier.

Les bureaux eux-mêmes occuperaient le rez-de-chaussée et pourraient même s'étendre au second étage, avec un escalier de communication spécial.

Pour les usines où l'on dispose d'un espace moins restreint, on construira pour le directeur un pavillon séparé, généralement pourvu d'un jardin, et l'on se trouve évidemment en présence d'une construction analogue à toute autre villa.

242. Distribution. — Cette villa comprendra généralement :

a) *Au rez-de-chaussée* : bureau, salon, salle à manger, cuisine, office;

b) *A l'étage* : deux ou trois chambres à coucher, avec cabinets de toilette, salle de bain, water-closet, dégagements;

c) *Au deuxième étage*, qui sera ménagé sous combles : une chambre d'ami, deux chambres pour domestiques, water-closet.

Il sera toujours utile d'avoir un grenier.

La cave sera aménagée pour pouvoir y installer un calorifère, en ayant soin de l'isoler pour ne pas échauffer la cave au vin. Quelquefois, on y dispose une buanderie; mais il est difficile d'évacuer les eaux de lavage de ce sous-sol, et il est préférable d'organiser cette buanderie de plain-pied dans le jardin en même temps qu'une resserre d'outils et tous autres accessoires.

La figure 122 donne une indication de ce qui peut être prévu dans cet ordre d'idées.

Quant à la décoration des façades, le mouvement des silhouettes et des charpentes, on pourra sans doute — tout en restant très simple — se départir de la stricte économie que comporte le groupe

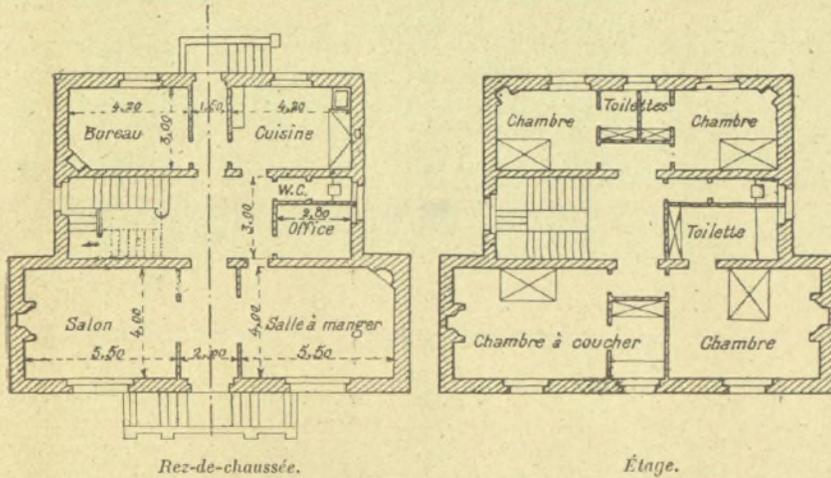


Fig. 122. — Maison de directeur.

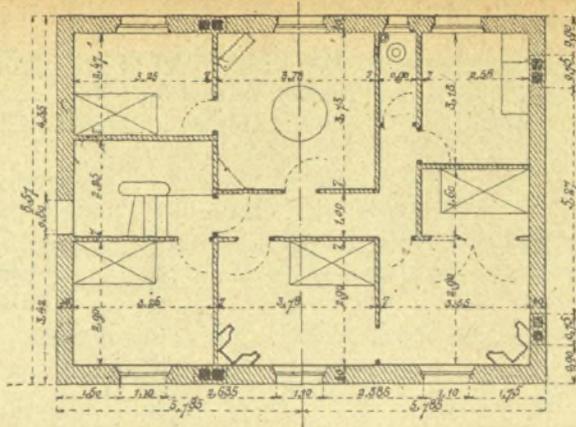
industriel proprement dit, pour donner à ce petit bâtiment un certain caractère de sobre élégance.

243. *Maison du chef d'usine de la Siagne.* — Nos figures 123 et suivantes offrent un exemple d'installation pour deux ménages (chef et sous-chef d'usine) dans une importante usine hydro-électrique.

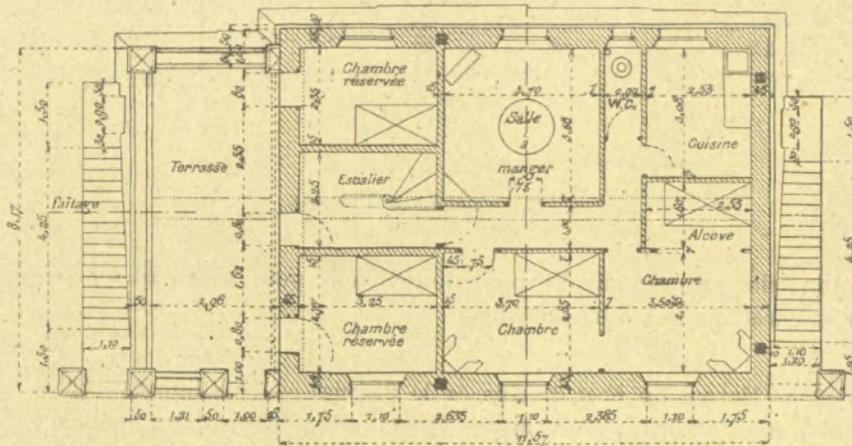
Chaque ménage occupe un étage. En outre, au rez-de-chaussée, on a réservé deux chambres, avec entrées particulières sur la terrasse, pour loger les administrateurs de passage.

Cette construction offre un excellent exemple de ce qu'on peut réaliser en pays de montagne. Tout le bâtiment est à flanc de coteau, ce qui a permis d'établir dans le sous-sol des locaux de facile accès.

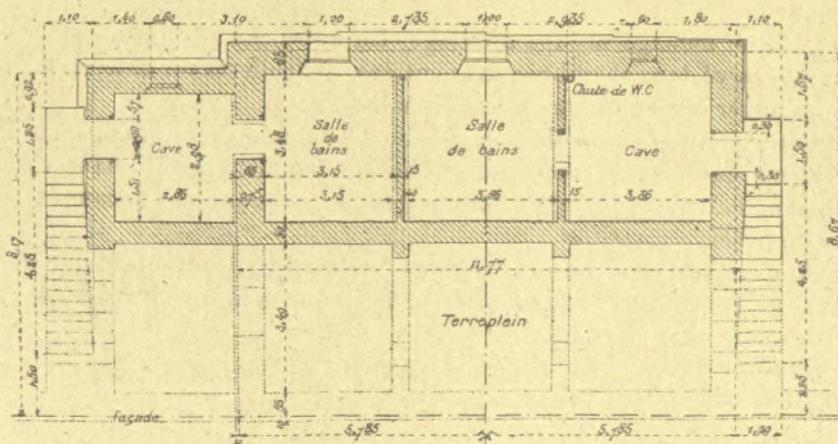
Nous n'y ferons qu'une critique : c'est qu'il faut absolument bannir, en vue de l'hygiène, les alcôves qui se trouvent dans une chambre à chaque étage.



Étage.



Rez-de-chaussée.



Sous-sol.

Fig. 123. — Maison du directeur. Usine de la Siagne.

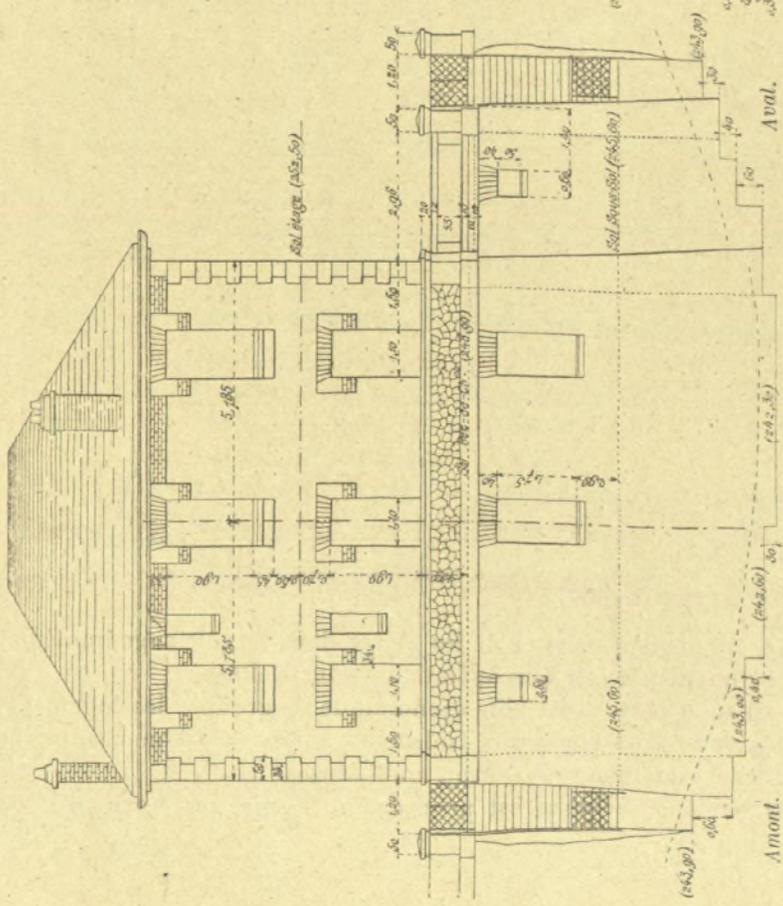


Fig. 124. — Façade sur la rivière.

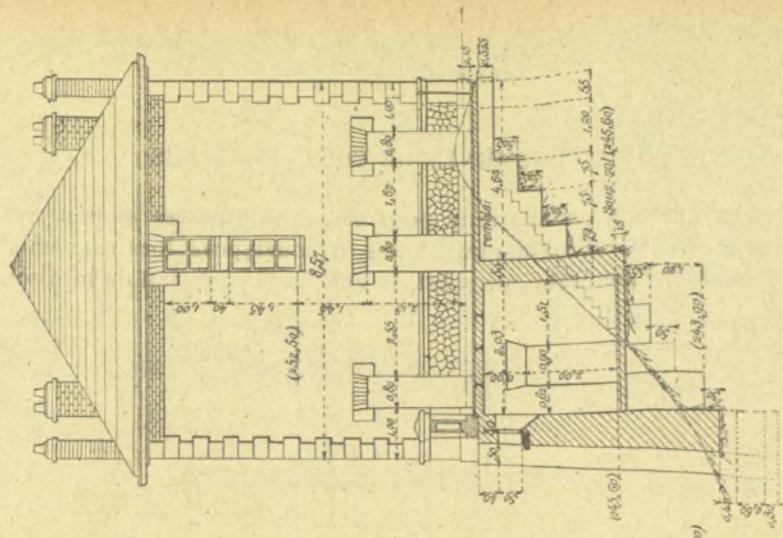


Fig. 125. — Coupe de la terrasse.

§ 3. — LOGEMENTS DE CONTREMAITRES

244. — a) Les installations pour les contremaîtres et pour les ouvriers dépendent évidemment des circonstances locales; mais, d'une manière générale, au point de vue de l'hygiène et de la disci-

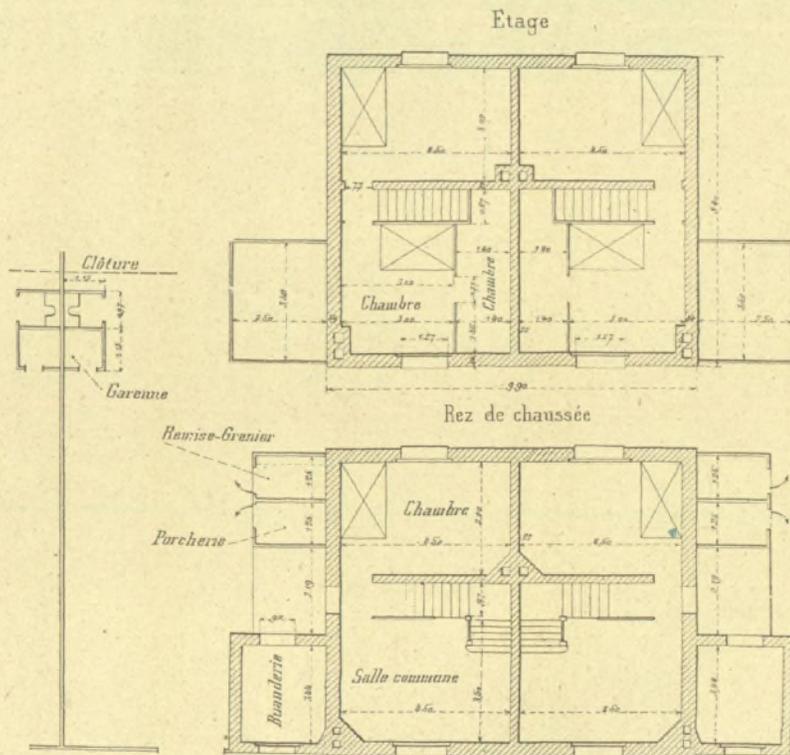


Fig. 126. — Maisons accolées aux mines de Dourges.

pline, il convient d'éviter de les placer dans le voisinage immédiat des bâtiments affectés aux opérations industrielles.

b) D'autre part, il est plus économique de grouper les logements plutôt que de les construire isolément; mais il est bon néanmoins d'éviter les agglomérations trop nombreuses.

La tendance actuelle est précisément d'isoler les logements, de

les entourer de verdure, malgré les raisons d'économie qui conduiraient à les grouper.

245. — On aurait une solution mixte avantageuse en formant des groupes de deux ou trois logements seulement.

C'est la solution à laquelle se sont arrêtées de grosses Sociétés minières dans le Nord et dans le bassin de Briey, qui, abandonnant l'ancienne pratique des immenses coronas à multiples étages, où les ménages sont entassés dans une déplorable promiscuité, ont voulu créer de véritables villages-jardins et y sont parvenues.

a) Nous en donnons deux exemples :

L'un (fig. 126), est une maison double adoptée comme type à *Dourges* (Pas-de-Calais).

Adossées par un mur mitoyen, les deux maisons regardent à l'opposé, c'est-à-dire que leurs portes sont dans les murs opposés. C'est en effet une condition essentielle que les portes ne soient point voisines et que chaque locataire ait l'impression de l'isolement.

Ici, l'on entre de là rue dans un enclos pouvant être aménagé en jardin. Sur le côté, on rencontre la porte d'entrée, sous un porche couvert flanqué d'une buanderie d'un côté, et, de l'autre, d'une remise-grenier et d'un dépôt de charbon. On entre dans un petit vestibule sous la volée de l'escalier, tandis que de part et d'autre on prend accès sur la salle commune servant de cuisine et sur une chambre.

L'escalier a son départ dans la salle commune et conduit à deux chambres à coucher à l'étage. Derrière l'une d'elles se trouve un grenier pouvant servir de séchoir.

Une petite construction légère, le long du mur de clôture du jardin, abrite les cabinets d'aisances et une garenne.

b) Le second type, construit par la *Société des Mines d'Anzin*, ne diffère pas sensiblement du précédent comme composition, mais la distribution un peu plus spacieuse n'est pas tout à fait la même.

On entre encore par le côté, sur le jardin. L'entrée principale est sur la salle commune; mais il existe en outre une cuisine, assez dissimulée en arrière, et qui a également une porte. Les locaux accessoires : dépôt, water-closet, porcherie, garenne, sont encore plus en arrière et appuyés au prolongement du refend formant séparation mitoyenne avec la maison voisine.

246. Type à trois logements. — Nous donnons aussi (fig. 128) un type à trois logements également fort confortables et ne comportant, comme les précédents, qu'un étage au-dessus du rez-de-chaussée; cet étage peut d'ailleurs être mansardé. Chaque logement est composé d'une cuisine, d'une salle à manger et deux chambres à

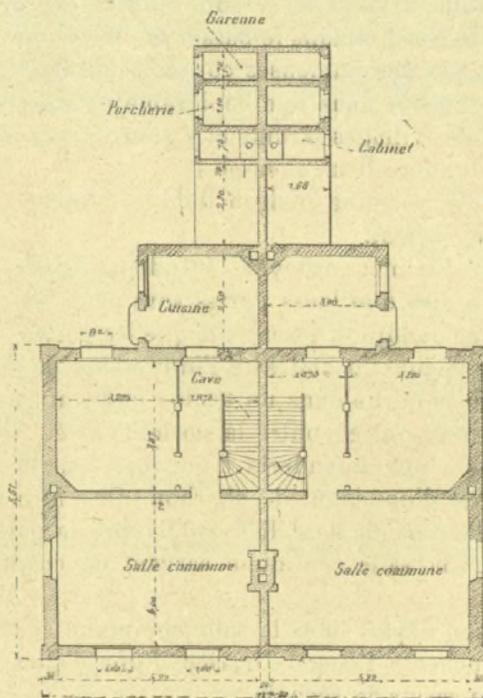


Fig. 127. — Maison ouvrière (mines d'Anzin).

coucher à l'étage où se trouvent aussi les water-closets. L'escalier est pris sur la cuisine. Les ménages disposent chacun d'une cave couverte par une travure en fer, tandis que le solivage intermédiaire est composé de bastings.

247. Types à simple rez-de-chaussée. — La nécessité de reconstruire un nombre incalculable de maisons dans les régions dévastées, bâtiments agricoles, logements d'ouvriers d'usine, a conduit à rechercher des types simples, économiques, avec des matériaux

souvent inusités jusqu'ici et qui seront peut-être les matériaux usuels de l'avenir. En particulier, le béton armé pour faire les ossatures et les planchers, les agglomérés creux qui permettent de

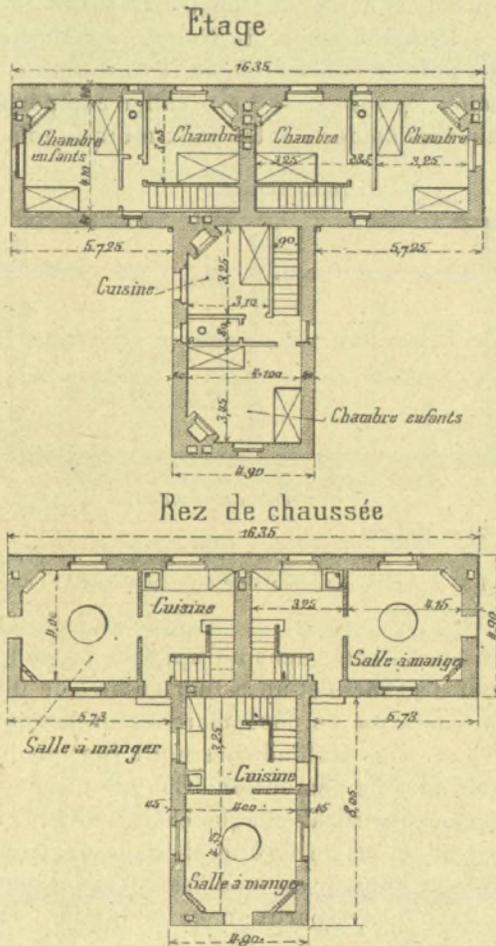


Fig. 128. — Logement pour trois ménages.

construire des murailles de 0,20 m. d'épaisseur aussi peu conductrices de la chaleur et du froid qu'une maçonnerie de 0,40 m. en moellons, offrent des ressources incomparables à qui sait les employer.

A la campagne, où le terrain ne coûte pas cher, on aura souvent intérêt à construire en simple rez-de-chaussée, le comble ne servant que de grenier.

Nous donnons deux types de constructions de ce genre établis par la Société « Le béton armé, de Nogent-sur-Marne » (CAN), où tout a été étudié pour le bon marché et le confortable.

a) *Type à quatre logements.* — Le premier comporte quatre logements de deux pièces compris entre deux murs de refend à l'équerre.

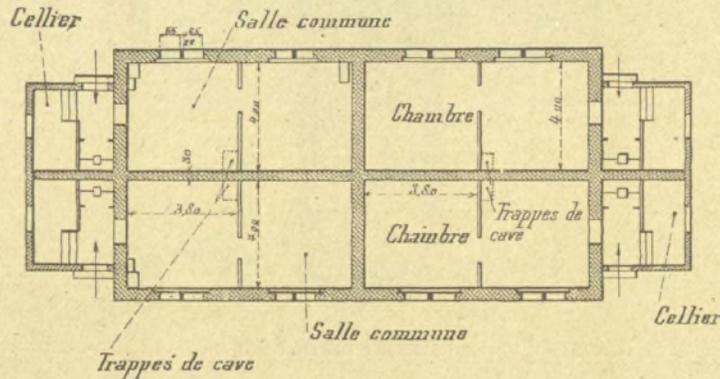


Fig. 129. — Maison à quatre logements de deux pièces (CAN) au rez-de-chaussée.

L'entrée se fait sur le côté, dans un appentis où se trouvent également un cabinet d'aisances et un cellier enterré de 0,60 m.

L'habitation, surélevée de deux marches au-dessus du sol, a une hauteur de 2,75 m. sous plafond. Les murs sont pleins, en béton de scories ou de briques de démolition. Chaque pièce est éclairée par une fenêtre à meneau vertical, chaque châssis de 0,65 m. de largeur, soit ensemble 1,30 m., et de 1,40 m. de hauteur. Nous formulons cette critique que la hauteur est insuffisante; la largeur ne compense pas ce déficit, la bonne répartition de la lumière et de l'aération exige que le dessus des fenêtres soit le plus près possible du plafond.

La charpente est en bois.

b) *Type à deux logements de quatre pièces (CAN).* La même société construit également des maisons à ossature en béton armé et remplissage à double paroi au-dessus d'un soubassement plein. La paroi extérieure est formée de plaques en ciment armé, la paroi

intérieure est en planches de plâtre; il est essentiel, en effet, qu'on y puisse enfoncer des clous, ce que les parois en ciment ne permettent pas.

On entre sous un porche d'un joli aspect, directement dans la salle commune servant de cuisine; les trois chambres à coucher ont de bonnes dimensions. Les communs, comprenant un cabinet

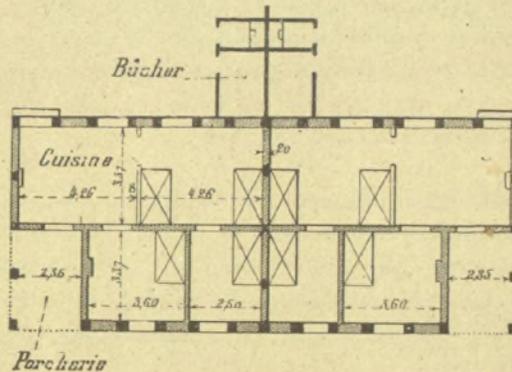


Fig. 130. — Maison à deux logements de quatre pièces (en rez-de-chaussée) [CAN].

d'aisances et un bûcher, s'appuient sur le mur de refend séparant les deux logements et qui est également à double paroi pour empêcher la sonorité.

§ 4. — L'HABITATION DE L'OUVRIER LOGEMENTS COLLECTIFS

248. — Il y aurait le plus grand intérêt, au point de vue de l'hygiène et du confortable, à ce que tous les ouvriers fussent logés à peu près individuellement, ayant chacun un jardin. La maison ne différera pas sensiblement des types que nous venons d'indiquer, chaque logement comportant au minimum deux pièces et un cabinet d'aisances.

Toutefois, dans certaines circonstances, dans la banlieue des villes où le terrain est cher notamment, on sera bien forcé de recourir à la maison collective, groupant un grand nombre de logements.

Le palier d'arrivée de l'escalier à chaque étage sera au milieu de la largeur entre grandes façades, afin de desservir quatre logements identiques de deux pièces; mais on s'efforcera de ne pas faire la maison d'une trop grande hauteur et de ne pas dépasser deux étages au-dessus d'un rez-de-chaussée surélevé de 0,80 m.

La hauteur des pièces sous plafond sera de 2,60 m. au moins. Les sols seront dallés ou carrelés. Le mieux est de les faire en ciment, de manière à pouvoir laver à grande eau. On doit proscrire les papiers de tenture : les murs seront donc enduits et peints.

Les angles des murs seront arrondis, car les angles rentrants sont des nids à poussière et à microbes.

249. Type GE pour logements collectifs. — Nous donnons un spécimen de ce que l'on peut faire dans cet ordre d'idées. Il s'agit d'un grand bâtiment que nous avons eu l'occasion d'étudier pour une entreprise minière en Espagne, et dont l'ossature est en béton armé avec remplissage en briques. Le bâtiment est à deux étages sur rez-de-chaussée.

Chaque cage d'escalier en ciment armé dessert quatre logements de deux pièces à chaque étage, soit douze ménages par escalier, ce qui est bien le maximum admissible.

a) La grosse difficulté réside dans l'organisation des water-closets, qui doivent être distincts par ménage, car personne ne veut se charger d'entretenir en état de propreté un local à usage commun. Il importe en outre de supprimer les inconvénients d'un voisinage immédiat avec les locaux habités. Le croquis montre comment le problème a été résolu en plaçant les cabinets au dehors dans des édicules légers où l'on parvient par des balcons.

b) La salle commune servant de cuisine a été pourvue d'aménagements accessoires qui en rendent l'usage commode. Un garde-manger persienné est placé dans l'allège d'une des fenêtres. En outre, sous l'évier, un vidoir permet de se débarrasser des déchets et ordures ménagères qui tombent dans une cheminée verticale en briques vernissées, jusque dans une grande poubelle logée à la partie inférieure. Ce système fonctionne bien, à la condition que la cheminée ne puisse pas s'obstruer et qu'elle ait pour cela un grand diamètre (0,60 m. environ).

c) Nous attirons aussi l'attention sur la nécessité de mettre à la

Il est alors presque impossible de créer des chambres individuelles, et on procède alors en groupant les ouvriers par 6 à 10 dans de petits dortoirs.

Il est essentiel de ne pas dépasser cette capacité, à cause de l'hygiène et du bruit.

On pourra généralement aménager des lavabos sur les paliers et des water-closets à usage commun à chaque étage, dans des édicules prenant également accès sur les cages d'escalier, en s'inspirant beaucoup de ce qui se fait dans la construction des casernes modernes.

§ 3. — RÉFECTOIRES ET COOPÉRATIVES

251. — L'organisation de réfectoires est aujourd'hui reconnue comme un excellent complément d'une usine, surtout lorsque celle-ci est éloignée des centres habités.

On conçoit que les ouvriers ne perdent pas ainsi un temps considérable pour aller prendre leur repas du milieu du jour; en outre, ils peuvent s'y reposer, en attendant l'heure de la reprise du travail.

Toutefois il ne suffit pas de donner au réfectoire une assez vaste surface horizontale; mais il faut aussi lui assurer un cube d'air important; la hauteur sous plafond ne doit pas être inférieure à 3,50 m.

Dans les nombreux essais qui ont été tentés, il a été reconnu que les ouvriers n'aiment pas beaucoup les grandes tables où ils sont tous groupés. Il est préférable de les répartir par petites tables d'un petit nombre de couverts.

En dehors des tables constituant l'ameublement essentiel de ce genre de pièces, il conviendra de prévoir les installations nécessaires au chauffage éventuel des aliments apportés par les ouvriers, au moyen d'appareils mobiles au gaz ou au pétrole.

On dispose souvent aussi, à cet effet, un petit local annexe où se trouvent des fourneaux et que des guichets font communiquer avec la salle principale.

Le sol surélevé de plusieurs marches, s'il est possible, devra être facilement lavable. On pourra dans ce but, le revêtir de carrelages, en grès cérame par exemple.

La salle, en outre, devra être largement éclairée, bien aérée et pourvue d'un système de chauffage rapide en hiver.

252. **Coopératives.** — De plus en plus, on reconnaît le nécessité dans une grosse agglomération d'ouvriers, ayant les mêmes intérêts et tant de liens communs, autour de l'usine qui les fait vivre, de faciliter leur alimentation et même leurs achats de tout genre par la création de coopératives.

Une organisation de ce genre comporte de nombreux bâtiments dont la bonne installation est indispensable, si l'on veut que les opérations soient conduites avec ordre et, en quelque sorte, industrialisées : bureaux administratifs, salle du conseil de surveillance, salle de réception des achats en gros, magasins, réserves, salles de vente.

§ 6. — ÉCURIES ET REMISES

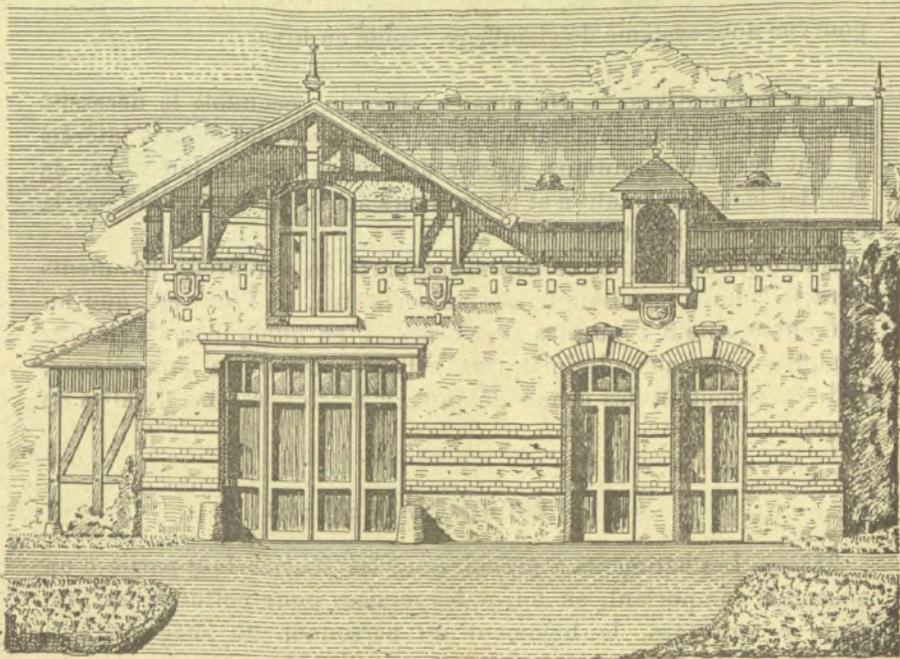
253. — Les bâtiments à prévoir pour les écuries font partie d'un ensemble comportant, en outre, les remises pour voitures, les greniers à fourrages, le logement du personnel, un magasin aux harnais :

On devra aménager une fosse à fumier dans le voisinage immédiat.

254. — Nous nous contenterons de rappeler les principales dimensions d'une écurie :

Hauteur d'étage	3 m. minim.
Longueur occupée par un cheval	2,60 m.
Largeur (avec barres de séparation)	1,40 m. à 1,55 m.
— (avec stalles fixes)	1,50 m. à 1,70 m.
— d'une écurie simple, y compris	
Une allée de 1,70 m. à 1,90 m. servant de	
passage derrière les chevaux	4,30 m. à 4,50 m.
Hauteur de mangeoire au-dessus du sol	1,10 m.
— des fenêtres —	1,70 m. à 1,80 m.
— des portes	2,20 m. à 2,40 m.
Largeur —	1,20 m.

La porte de la remise étant de grande largeur, il sera bon de la faire rouler sur des rails supérieurs. La porte de l'écurie sera coupée, dans sa hauteur, en deux parties susceptibles de s'ouvrir



0 1 2 3 4 5 Mètres

Fig. 132.

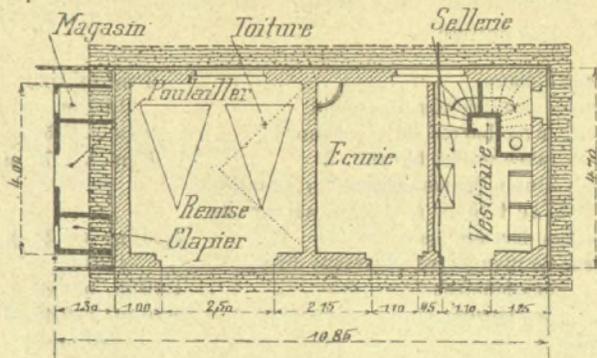


Fig. 133. — Écuries et remises.

et de se fermer séparément. La partie inférieure est à un vantail; la partie supérieure à deux vantaux.

En laissant ces derniers ouverts, on complète l'aérage par temps chaud.

255. — *a)* Le sol doit être établi en pente légère jusqu'à un caniveau courant à la queue des chevaux. Il devra être imperméable autant que possible, pavé en grès ou en briques dures posées de champ et rejointoyées au mortier de ciment.

On emploie aussi les revêtements en ciment ou en asphalte, mais ces dallages sont glissants.

b) On doit assurer un bon aérage, mais on évitera de placer les fenêtres en face et au-dessus de la tête des chevaux.

c) Si le grenier à fourrages est au-dessus des chevaux, on aura soin de faire un plafond imperméable sous le plancher du grenier, pour éviter que les poussières ne retombent dans l'écurie.

256. Fosse à fumier et à purin. — La fosse à fumier est une excavation rectangulaire, limitée par des murettes sur trois côtés. Sur le quatrième côté, ouvert, le fond de la fosse se raccorde avec le sol naturel avoisinant par une rampe de toute la largeur de la fosse et présentant une pente de 10 à 12 p. 100.

La rampe et le fond de la fosse sont pavés. Les murs sont revêtus intérieurement en ciment.

Si l'on a du purin en grande quantité, il est bon de le recueillir dans une fosse spéciale-couverte, dont le radier et les parois seront à angles arrondis et enduits de ciment.

CHAPITRE XII

INSTALLATIONS SANITAIRES

§ 1. INSTALLATIONS D'HYGIÈNE DE L'ATELIER. — A. Vestiaires. — B. Lavabos. — C. Bains-douches.

§ 2. INSTALLATIONS SANITAIRES. — a) Fosses fixes. — b) Tinettes mobiles. — c) Tout à l'égout. — d) Fosses septiques. — Achèvement de l'épuration sur lits de contact.

§ 3. ORGANISATION DES CABINETS. — A. Les sièges. — Obturation du trou de chute. — a) Appareils sans effet d'eau. — b) Avec chasses. — B. Appareils intermédiaires, système à collecteur unique. — Des chasses.

§ 4. DE L'ALIMENTATION EN EAU. — Provenances. — Citernes, puits, sources, eau de rivière. — Épuration. — Distribution dans un établissement industriel : prise sur une canalisation urbaine, robinet de jauge. — Canalisation intérieure. — Réservoirs, en tôle, en béton armé.

§ 5. L'AIR A L'USINE. VENTILATION ET DÉPOUSSIÉRAGE. — Causes qui vicient l'air. — Volume nécessaire de l'air de renouvellement. — Détermination des orifices. — Ventilation automatique. — Ventilation mécanique. — Enlèvement des poussières et de la buée.

§ 1. — INSTALLATIONS D'HYGIÈNE DE L'ATELIER

257. — Le souci de l'hygiène prend de plus en plus d'importance dans les établissements industriels.

L'éducation des populations ouvrières, au point de vue de la propreté personnelle, se fait d'une façon continue quoique assez lente.

Quant à l'hygiène générale, c'est aux chefs d'industrie qu'il appartient de s'en préoccuper; d'ailleurs les pouvoirs publics sont intervenus par des règlements administratifs sur l'hygiène des locaux industriels et des ateliers et ces règlements sont passés dans les mœurs.

C'est ainsi que tout établissement industriel employant des ouvriers doit mettre à leur disposition, non seulement des cabinets d'aisances, mais aussi des lavabos et des vestiaires.

A. — VESTIAIRES

258. — Sous le nom de vestiaires, on n'entend pas nécessairement un local spécial, distinct de l'atelier lui-même. Il suffit que chaque ouvrier dispose d'une armoire fermant à clef, où il puisse échanger ses vêtements d'extérieur contre ses vêtements de travail.

Les armoires (ou compartiments) sont assez hauts pour qu'on y puisse suspendre les effets, avec une planchette pour les chaussures.

Elles sont généralement en tôle, avec un panneau garni de toile métallique ou de métal déployé afin d'assurer l'aération. On les groupe par quatre, cinq ou six compartiments individuels, ou davantage.

Avant la guerre, le prix moyen était de 20 fr. par compartiment.

Il est bon que le vestiaire soit dans le même local que le lavabo, ou que, tout au moins, les ouvriers soient obligés de traverser le lavabo pour se rendre au vestiaire, ce qui les incite à se nettoyer et à se laver avant de s'habiller.

B. — LAVABOS

259. — La présence dans l'atelier et sur le passage de lavabos bien installés amène peu à peu l'ouvrier à prendre l'habitude de se laver, le travail fini. C'est certainement un résultat d'hygiène important, et l'on y doit aider en donnant aux lavabos une organisation aussi parfaite que possible.

On doit s'en préoccuper d'autant plus que les fabrications de l'usine comportent des produits dangereux pour la santé, des sels de plomb ou d'arsenic par exemple, ou qu'il s'agit au contraire de produits alimentaires dont la propreté et la pureté sont les premières vertus nécessaires.

a) L'installation de lavabos exige tout d'abord une canalisation d'amenée d'eau, puis des postes isolés et des postes collectifs, où seront répartis les prises individuelles. C'est à proprement parler, le local où se trouvent réunies ces prises individuelles qu'on appelle les *lavabos*. Ce local doit être clair, bien aéré, à sol dallé en produits imperméables ; les murs seront recouverts de faïence ou d'un enduit de ciment sur 1,50 m. environ ; le reste sera peint à l'huile.

Enfin le local sera chauffé en hiver.

b) Les lavabos collectifs sont disposés soit en une seule rangée le long d'un mur, soit en deux rangées adossées et placées au milieu de la pièce.

La table placée à 1,70 m. du sol, est généralement en métal émaillé, ainsi que les cuvettes. Celles-ci sont, soit fixes avec une tubulure et un clapet de vidange au fond, soit à bascule déversant les eaux sales dans une trémie d'où part la conduite d'évacuation. Cette conduite doit être siphonnée.

L'écartement des cuvettes est d'au moins 0,50 m. de centre à centre. Les robinets distribuant l'eau sont évidemment écartés en conséquence et montés sur un collecteur maintenu à une hauteur convenable.

c) *Nombre de robinets.* — Si le nombre des robinets est insuffisant, l'expérience permet de dire qu'il n'est pas possible de faire attendre les ouvriers; ils sont limités par le temps de repos qui coupe le milieu de la journée et trop désireux de rentrer chez eux le soir ⁽¹⁾.

Quand donc il y a 1 robinet pour 5 personnes, proportion souvent admise on peut compter qu'il n'y a guère que 20 p. 100 des ouvriers qui se lavent.

Il faudrait arriver, dit M. Barjeton, au robinet individuel, et dans certaines usines, chaque ouvrier a un lavabo numéroté en faïence émaillée, dont la propreté l'intéresse et qu'il nettoie avec soin, ce qui est un double résultat.

d) *Serviettes et savon.* — La fourniture des serviettes n'est guère possible qu'en les distribuant individuellement avec un numéro d'ordre, qui permet de constater les manquants au moment du ramassage à la fin de la semaine.

C. — BAINS-DOUCHES

260. — Dans certaines industries où l'atelier est toujours rempli de poussière qui s'attache à la peau, il est bon d'installer des bains-douches; mais c'est surtout dans l'organisation des villages d'ouvriers qu'il y a lieu de prévoir la construction sur un point central d'un véritable établissement de bains et avant tout de bains-douches.

(1) Barjeton, *L'hygiène dans la construction des usines.*

Dans une usine, on ne pourrait d'ailleurs faire passer tous les ouvriers à la douche chaque jour ; mais quelques appareils rendront d'utiles services dans les ateliers où quelques hommes sont employés à certains ouvrages spéciaux particulièrement salissants : le détartrage des chaudières, le ramonage et piquage, par exemple.

L'appareil comprend essentiellement des pommes d'arrosoir greffées sous un collecteur et munies de chaînes de tirage pour l'ouverture des soupapes.

Le local doit être dallé avec des pentes convenables, les murs enduits de ciment.

§ 2. — INSTALLATIONS SANITAIRES. SYSTÈMES DE VIDANGE

261. — L'installation des cabinets d'aisances est liée aux moyens dont on dispose pour l'évacuation des matières et aussi à l'abondance plus ou moins grande de l'eau.

Nous rappellerons rapidement les différents systèmes de vidange.

a) *Fosses fixes.* — Tout d'abord les fosses étanches ne doivent être employées que si l'on ne peut pas faire autrement. Elles sont souterraines et voûtées ; la superficie ne doit pas être inférieure 4 m^2 ; la hauteur de la voûte sous clef doit être de 2 m. au moins, et la hauteur entre la voûte et le sol ne dépassera pas 1,50 m. On pénètre dans la voûte par un regard de 1 m. \times 0,65 m. au minimum.

Toutes ces prescriptions ont pour but de sauvegarder la sécurité des ouvriers appelés à vidanger la fosse, opération pendant laquelle les asphyxies sont fréquentes quand on n'y emploie pas des appareils de pompage perfectionnés.

D'autre part, la fosse doit être ventilée par deux tuyaux de 20 à 25 cm. de diamètre que l'on monte généralement dans l'épaisseur du mur de la maison, jusqu'à la hauteur des souches de cheminées.

Les tuyaux de chute traversent verticalement la voûte.

L'extraction se fait périodiquement. Dans les villes, on y emploie un matériel de tonneaux hermétiques et de pompes à moteur ; mais à la campagne et dans les petites localités, le puisage direct est particulièrement désagréable.

262. b) *Tinettes mobiles.* — Très fréquemment, dans les usines, les cabinets d'aisances sont disséminés irrégulièrement et l'on ne dis-

pose pas d'égouts aménagés pour recevoir les matières de vidange. Celles-ci sont alors recueillies dans des tinettes mobiles, récipients cylindriques en tôle galvanisée qu'on enlève après les avoir couverts, en les remplaçant par des tinettes vides.

Pour faciliter la manœuvre, on les fait glisser sur deux rails en fer plat, disposés dans la logette inférieure que surmontent le siège et la cabine.

Si l'on a soin de garnir la tinette de matières absorbantes (poussière de route, paille hachée, etc...), ce procédé est inodore et sans danger (système Goux).

Mais, comme le procédé à fosse fixe, il est incompatible avec une trop grande abondance d'eau de lavage.

263. c) Système du « Tout à l'Égout ». — L'application du système dit du *Tout à l'Égout* suppose l'existence d'un égout convenablement aménagé pour l'entraînement des matières de vidange, sans danger pour l'hygiène générale.

La cuvette de l'égout doit être imperméable, avec une pente régulière et suffisante pour éviter le colmatage, ce qui nécessite une vitesse d'entraînement assez grande.

Tous les débouchés doivent être siphonnés.

Enfin, il est nécessaire que l'on dispose d'une grande quantité d'eau, non seulement pour une circulation continue dans l'égout, mais pour des chasses périodiques sur les appareils récepteurs eux-mêmes.

Chaque immeuble, chaque établissement doit être à son tour pourvu de collecteurs à petite section parfaitement étanches et *nettoyés périodiquement par des chasses d'eau*. Ces collecteurs aboutissent à l'égout par des siphons empêchant le retour des miasmes et des gaz délétères.

Le système n'est donc applicable, comme on le voit, que si l'on dispose d'une grande quantité d'eau. Il suppose une organisation spéciale des cabinets et des sièges dont nous verrons tout à l'heure l'installation.

264. — Le « Tout à l'Égout » n'est complet que si l'on a un moyen de se débarrasser, au débouché de l'égout, des matières et des eaux résiduaires qui les ont charriées.

On les verse alors sur des *champs d'épandage*, où la culture intensive détruit les matières organiques; les eaux en excès se filtrant dans le sol peuvent alors se jeter sans danger à la rivière.

Malheureusement, ceci suppose que l'on ne donnera jamais à la terre plus qu'elle ne peut absorber, à la culture plus qu'elle ne peut utiliser.

Or, à mesure que la population d'une grande ville comme Paris s'accroît, à mesure que l'application du « Tout à l'Égout » se développe, les surfaces d'épandage deviennent rapidement insuffisantes, et le « Tout à l'Égout » se présente avec tous ses inconvénients.

On est obligé alors, pour ne pas rejeter à la rivière des eaux-vannes aussi impures, de les traiter au préalable par un procédé d'épuration quelconque, soit par des agents chimiques, soit par un traitement biologique dont nous allons voir un exemple dans l'emploi des fosses septiques.

265. *d) Fosses septiques.* — Depuis quelques années, on a imaginé un système de vidange qui permet de bénéficier des grands avantages du « Tout à l'Égout », en évitant les sujétions qu'il comporte et les inconvénients que nous venons de signaler.

Si l'on parvenait, en effet, à transformer les matières putrescibles en substances inorganiques et solubles, il est évident qu'on pourrait ensuite les jeter dans un égout quelconque, celui-ci ne fût-il pas aménagé comme il vient d'être dit.

Dans ce but, on fait appel à une transformation biologique due à l'action de certains microbes *anaérobies* (c'est-à-dire vivant à l'abri de l'air) grâce auxquels les matières organiques sont à peu près désintégrées et rendues solubles (on dit : liquéfiées).

L'appareil où se passe ce travail d'épuration se compose de deux chambres contiguës bien closes et toujours remplies d'eau jusqu'à un niveau constant.

Le tuyau de chute descend jusqu'à 0,30 m. ou 0,40 m. au-dessous de ce niveau, dans la première et les matières qui s'en échappent montent à la surface aussitôt que, grâce à un commencement de fermentation, elles sont gonflées par les gaz produits.

Il se forme alors à la surface un *chapeau* mucilagineux qui devient le siège de la désintégration dont nous venons de parler.

Dans le milieu de la masse liquide, il n'y a plus de matières solides en suspension, mais seulement des sels en dissolution.

A chaque visite, on doit donner une chasse de 8 à 10 litres d'eau qui, outre qu'elle nettoie la cuvette, force une égale quantité de liquide à passer, d'abord par d'étroites fenêtres horizontales dans le second compartiment où la masse n'est plus agitée par les remous, ce qui permet aux liquides et aux parties encore solides de se classer, toute la masse intermédiaire n'étant qu'un liquide clair ne contenant que des sels solubles. De là, par un trop-plein syphoïde, ce liquide s'échappe dans le collecteur qui conduit à l'égout ou même à un terrain qu'il irrigue.

266. Achèvement de l'épuration. — L'eau ainsi évacuée, avons-nous dit, ne contient plus de matières solides en suspension : elle ne peut donc plus colmater les égouts; mais elle n'est pas absolument débarrassée de sels décomposables, — sels ammoniacaux en particulier — qui pourraient donner des émanations désagréables.

Avant de se débarrasser de ces liquides à l'air libre, s'il s'agit d'un établissement important et de masses liquides considérables, il convient de leur faire subir un complément d'épuration par oxydation, et, pour cette opération, c'est encore à des microbes qu'on a recours, mais à des microbes *aérobies*: cette fois (auxquels l'oxygène est nécessaire).

Pour cela, on projette le liquide en pluie sur des *lits de contact*, composés de coke ou d'autres matières poreuses; l'action de l'air, provoquée par les microbes, produit alors l'oxydation que l'on avait en vue.

L'organisation de ces lits bactériens est souvent difficile parce qu'ils exigent de très vastes surfaces. Lorsque la quantité d'eaux-vannes à épurer est modérée, on peut réduire la surface en la répartissant en plusieurs échelons superposés. Ce sont des plateaux grillagés que l'eau versée en pluie traverse successivement, tandis qu'un ventilateur envoie par le bas une colonne d'air qui les traverse de bas en haut.

Le puisard où se trouvent ces plateaux se place à côté de la fosse septique proprement dite, et sa profondeur est d'autant plus grande qu'il y a plus de plateaux. Pour écouler l'eau affluente, il

est souvent nécessaire de la refouler par une pompe qui l'élève jusqu'au niveau d'écoulement.

§ 3. — ORGANISATION DES CABINETS

267. — Dans un établissement industriel, on doit compter 1 siège par 50 personnes employées dans l'usine ou les bureaux. Les cabinets seront généralement réunis par groupes de 3, 4 ou 5, côte à côte.

On pourrait dire que l'organisation d'un cabinet se compose de deux parties : celle qu'on voit et celle qu'on ne voit pas.

A. — LES SIÈGES

268. — La première comprend avant tout l'appareil récepteur qu'on nomme le siège, alors même qu'il n'est pas disposé pour la station assise. Il convient même de dire que, dans une usine ou un atelier, chaque fois en un mot que le cabinet est destiné à l'usage commun d'un grand nombre de personnes qui n'ont pas souvent des habitudes de propreté bien certaines, on ne saurait mettre à leur disposition des sièges de cette dernière catégorie qui seraient toujours sales.

Les sièges dits à la turque sont les seuls pratiques. Un siège de ce genre est en principe une cuvette à pentes assez raides pour que l'écoulement soit rapide, et percée d'un trou de chute, en avant duquel se trouvent deux pédales.

La forme la plus rationnelle est celle d'un rectangle ayant la même largeur que le cabinet dont il garnit le sol en s'appuyant sur trois côtés.

Dans cet ordre d'idées, le siège Goux, en fonte brute, est un de ceux qui répondent le mieux à leur objet, et il a l'avantage en outre d'être très économique. Le trou est oblong, de forme générale rectangulaire, plus long que large, et, vers ses quatre côtés, les panneaux formant un tronc de pyramide descendent en pente si raide qu'il serait impossible de s'y tenir accroupi. On doit poser les pieds sur une grille garnissant tout le devant de la trémie et qui laisse s'écouler tous les liquides.

On fait des sièges à la turque plus élégants en fonte émaillée ou

en grès cérame, qui affectent une forme arrondie ou ovale, avec un bord redressé verticalement de 0,12 à 0,15 m. Les pédales sont en saillie et striées. La forme arrondie a l'inconvénient qu'elle laisse dans les angles des écoinçons qu'il faut garnir de tuileaux et de ciment, en posant ensuite des carreaux de faïence émaillée difficiles à placer sur cette surface courbe; un pareil travail est fort coûteux.

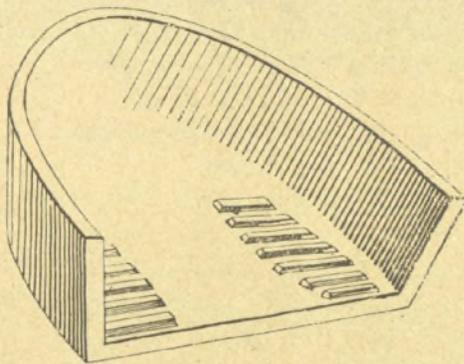


Fig. 134. — Siège en grès cétaux.

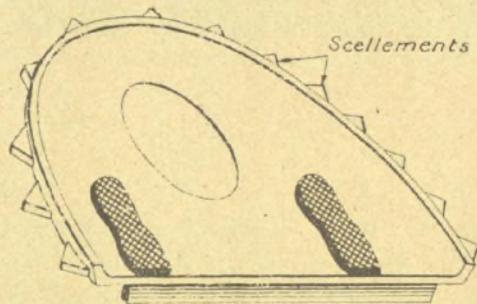


Fig. 135. — Siège à bord rond en fonte émaillée.

269. — On dispose quelquefois le siège à 0,20 m. au-dessus du dallage du cabinet. Dans ce cas, pour assurer l'écoulement des liquides qui souillent le terrassin en avant, il faut ménager un petit trou dans la contremarche; mais ce petit trou se bouche aisément; une feuille, un morceau de papier y suffit; et c'est alors l'inondation du cabinet.

Il faut donc proscrire tout surélévément et exiger au contraire que le siège soit dans le prolongement du terrassin lui-même.

270. **Obturation du trou de chute.** — Pour empêcher le retour des gaz délétères, il convient d'établir une obturation entre le siège et le tuyau de chute.

Les moyens d'obturation varient suivant que le système comporte peu ou beaucoup d'eau de lavage et de chasse.

a) *Appareils sans effet d'eau.* — La collerette qui termine le trou de cuvette en dessous est placée sur un pot à valve, en forme de tronc de cône. Le clapet tourne autour d'un axe et se referme automatiquement sous l'action d'un contrepoids. L'obturation a

donc lieu par la seule application du clapet sur son siège. On peut la rendre un peu plus efficace en donnant à la valve elle-même une

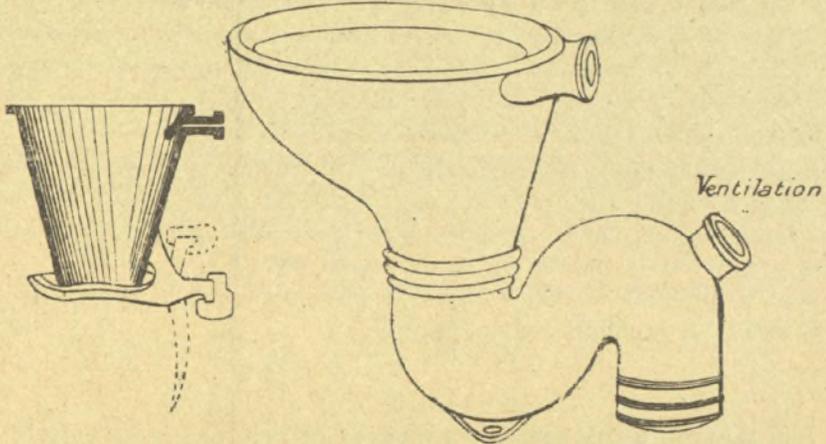


Fig. 136. — Pot à valve.

Fig. 137. — Sièges à l'anglaise en deux pièces.

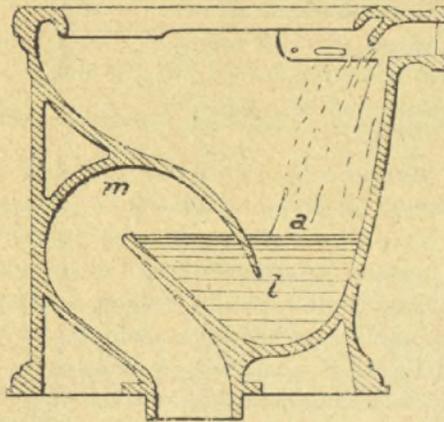


Fig. 138. — En une seule pièce.

forme concave; on y verse un peu d'eau qui forme alors obturation.

b) Appareils avec chasses d'eau. — Lorsqu'on fait usage du « Tout à l'Égout » ou de fosses septiques, la grande quantité d'eau dont

on dispose permet d'organiser une véritable obturation hydraulique, au moyen d'une retenue d'eau dans un siphon.

La chasse de 8 à 10 litres d'eau projetée violemment dans la cuvette, la lave, pousse l'eau de retenue qui amorce le siphon en entraînant les matières. Quand la principale masse d'eau s'est écoulée, le siphon se désamorce; mais sa première branche reste pleine et l'obturation est rétablie.

Nous en donnons des applications à un siège à l'anglaise pour la position assise.

L'appareil en faïence émaillée peut être en deux pièces, la cuvette se posant sur le siphon, ou en une seule pièce; ce dernier modèle, par sa difficulté de fabrication, est nécessairement beaucoup plus coûteux que le modèle en deux pièces.

B. — APPAREILS INTERMÉDIAIRES ENTRE LE RÉCEPTEUR ET L'ÉGOUT

274. Système à collecteur unique. — Dans un établissement industriel, nous avons indiqué pourquoi il est bon d'adopter un siège à la turque et la station accroupie. Les mêmes raisons doivent guider dans l'organisation des éléments suivants de jonction avec la canalisation.

Un siège à la turque peut se poser sur un siphon, tout comme une cuvette anglaise, et, si l'on a plusieurs cabinets contigus, on aura ainsi une série de sièges à siphons individuels. Mais les siphons sont les organes les plus sujets à l'obstruction; il convient donc de ne pas les multiplier hors de propos. C'est pourquoi, pour l'usage en commun, il est préférable d'adopter le *système à collecteur unique*, qu'on appelle aussi le *système à bateau*.

Chaque siège à la turque est monté directement sur la tubulure d'un tronçon de collecteur ayant pour longueur la largeur de la cabine, c'est-à-dire 0,80 à 0,90 m. Le diamètre est de 0,20 à 0,25 m.

Les différents tronçons accolés sont réunis à brides boulonnées ou à bagues, et forment ainsi un collecteur unique que l'on termine en amont par un fond percé seulement pour l'arrivée d'un tuyau qui le fait communiquer avec un réservoir de chasse générale. L'autre

extrémité se relève légèrement de manière à former un seuil qui produit une retenue d'eau de quelques centimètres où les matières, en tombant, flottent sans adhérer aux parois. L'eau des chasses balaye le tout, traverse ensuite un siphon d'obturation et se rend à l'égout.

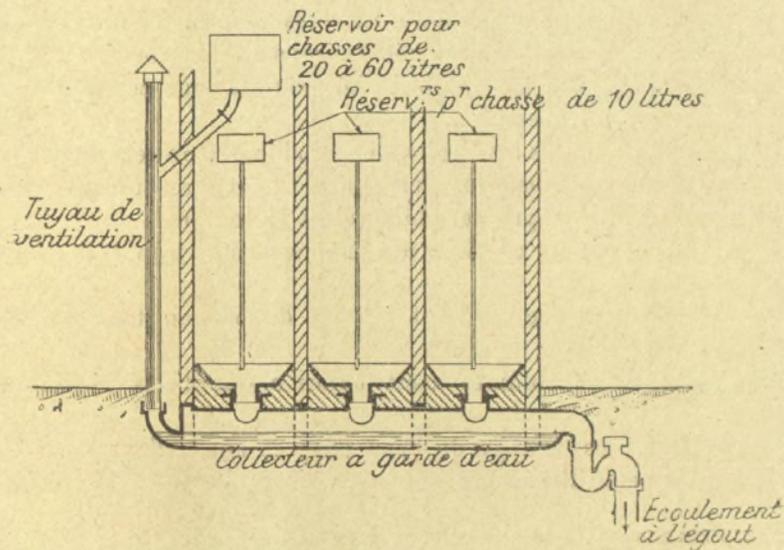


Fig. 139. — Cabinets groupés à usage commun.

272. Des chasses. — Les chasses sont de deux sortes. Les unes sont lancées périodiquement dans le collecteur qu'elles lavent en entraînant toutes les matières; les secondes lavent chaque cuvette. Elles peuvent être provoquées par le tirage d'une chaînette qui amorce le siphon du réservoir de chasse placé au-dessus du siège, mais il faut compter avec la négligence et la brutalité des ouvriers qui ne feront pas cette manœuvre, très simple pourtant, ou casseront la chaîne. Il vaut donc mieux, dans ce cas, rendre ces chasses automatiques et périodiques, mais alors elles doivent être assez fréquentes.

§ 4. — DE L'ALIMENTATION EN EAU

273. — En dehors même de son rôle comme boisson et de ses différents usages domestiques, l'eau intervient sous bien des formes dans l'industrie, soit pour l'alimentation des machines à vapeur, soit dans les opérations industrielles elles-mêmes. Pour certaines d'entre elles, les quantités d'eau nécessaires sont si importantes qu'on est conduit à s'établir sur le bord d'un cours d'eau; ce sera le cas des peausséries par exemple.

Dans presque toutes les applications d'ailleurs, on recherche une eau aussi pure que possible. Cette pureté peut être envisagée des trois points de vue physique, chimique et biologique :

Physique, si elle ne contient pas en suspension trop de matières solides inertes;

Chimique, si elle ne contient pas en dissolution trop de sels minéraux;

Biologique, si les colonies bactériennes n'y sont pas trop nombreuses.

L'eau potable est le type de l'eau pure et nous allons nous en occuper plus particulièrement.

274. Provenance. — On se procure l'eau nécessaire :

- 1° En recueillant dans des *citernes* l'eau tombée sur les toitures;
- 2° En pompant dans des *puits* l'eau des nappes souterraines;
- 3° En amenant l'eau de *sources* quelquefois fort éloignées du point de consommation;
- 4° En faisant une prise directe dans un *cours d'eau*.

Les citernes et les puits conviennent à des habitations isolées ou de petites agglomérations. Les puits peuvent s'arrêter dès qu'on atteint la première couche de terrains imbibés, ou *couche phréatique*; mais cette eau mal débarrassée des impuretés de la surface, peut n'être pas assez pure; elle est sujette à des contaminations accidentelles, capables de déterminer des épidémies telles que la fièvre typhoïde caractérisée par le bacille d'Eberth. Il sera toujours préférable de traverser la première couche perméable au moyen d'un tubage étanche, de percer la couche imperméable qui lui sert de support, pour atteindre la seconde couche perméable; on a alors un *puits profond*, d'autant plus coûteux que la profondeur est plus grande.

275. — Aussitôt qu'il s'agit d'alimenter une agglomération un peu considérable, on est forcé de recourir à l'eau de source ou de rivière, la première naturellement pure, la seconde qu'il sera nécessaire d'épurer.

276. a) Eau de source. — L'aménée de l'eau nécessite des travaux comprenant :

1° Le *captage* des différents griffons sur une certaine étendue de terrain, et le groupement dans un bassin ;

2° Une *conduite d'aménée*, soit par un canal à ciel ouvert — système à rejeter à cause des chances de contamination, — soit une canalisation de grand diamètre, jusqu'au réservoir de ville ;

3° La *canalisation de distribution* desservant, par des transversales et des branchements, les différents quartiers, les rues et enfin les immeubles.

277. b) Eau de rivière. — La prise peut se faire : en rivière ou sur la rive.

1° En rivière, on fera la prise en plein courant, où l'eau est plus pure que près de la berge.

Un bon procédé consiste à construire un véritable *ilot filtrant* composé de sable, de gravier et d'encrochements, entourant une tour maçonnée dont la base en pierres sèches laisse passer l'eau. Dans cette sorte de puits, on installe la crépine d'une pompe qui refoule l'eau jusqu'à la rive où elle s'engage dans la canalisation.

2° Sur la rive, on établit des galeries filtrantes parallèles à la berge. L'eau traverse d'abord une masse de terrain assez épaisse pour donner un bon filtrage ; elle s'introduit dans la galerie par les pierres sèches qui constituent la paroi, et l'on peut alors la pomper et l'envoyer dans la canalisation.

Un certain nombre de puits filtrants remplacent avantageusement la galerie. On les réunit par un collecteur sur lequel est établi l'appareil de puisage.

278. Épuration. — L'eau de rivière, avant d'être livrée à la consommation, doit être épurée.

L'épuration comporte : 1° une décantation ou mieux un premier filtrage à travers des *filtres dégrossisseurs* au sable ou au coke, opé-

ration qui n'a d'autre but que de débarrasser l'eau des matières solides en suspension; 2° une épuration chimique et biologique, destinée à la débarrasser des sels minéraux en excès et des microbes qui la peuplent.

Cette dernière épuration peut s'obtenir en faisant passer l'eau répandue en pluie sur des *lits de contact* composés de coke, où les gouttes d'eau sont en contact avec l'air qui oxyde les impuretés organiques par l'action des microbes aérobies, comme nous l'avons vu pour les eaux-vannes.

Ces lits de contact exigeant de vastes surfaces, on peut avoir recours à un agent chimique, qui est du chlore emprunté à l'hypochlorite de chaux ou de soude. La solution d'hypochlorite est bien connue sous le nom d'eau de Javel, et l'opération s'appelle la *Javelisation*. Cette méthode, qui a rendu de très grands services pendant la guerre, tend à se répandre beaucoup.

La dose nécessaire et suffisante pour une stérilisation complète est d'ailleurs très faible. Elle ne dépasse pas quatre dixièmes de milligramme de chlore libre par litre d'eau à purifier, c'est-à-dire qu'en prenant de l'extrait de Javel dosé à 50 g. de chlore par litre, une goutte de cette solution suffit à stériliser 25 litres d'eau, ou deux seaux de la contenance habituelle.

Bien entendu, le mode opératoire a été industrialisé, et l'on a créé des appareils assurant un dosage automatique pour les grandes quantités d'eau que comporte une consommation urbaine.

On peut également employer directement du chlore liquide.

279. Alimentation et distribution dans un établissement industriel.

— Le plus souvent, un établissement industriel, à moins qu'il ne soit éloigné de toute agglomération, empruntera l'eau dont il a besoin à une canalisation de ville passant à proximité. Toutefois il y a lieu d'envisager qu'il devra payer la redevance de tout usager, et il pourra fort bien arriver qu'il trouve un avantage économique à s'alimenter par ses propres moyens, soit en faisant une amenée de source, soit en créant des puits. A Paris, dans le quartier situé au-dessus de la nappe d'eau de la Bièvre, des tanneries — industrie qui consomme beaucoup — ont trouvé une grande économie à forer des puits sur lesquels sont établies des pompes à vapeur, au lieu d'emprunter l'eau de la ville, ce qui semblerait plus simple *a priori*.

280. *Prise sur une canalisation urbaine. Robinet de jauge.* — Si l'eau est fournie par une canalisation urbaine, la constatation des quantités consommées est faite par un *robinet de jauge*.

Le robinet de jauge ne laisse passer l'eau que par un diaphragme, dont l'orifice très petit est déterminé de manière que la quantité

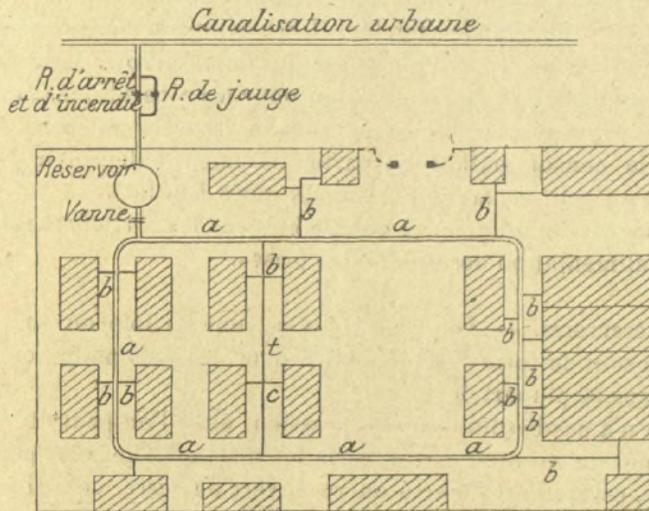


Fig. 140. — Distribution dans une usine.

aa, conduite principale; t, transversale; bb, branchements.

nécessaire soit fournie en s'écoulant d'une façon continue et régulière pendant les vingt-quatre heures.

Or, la consommation n'est pas régulière; elle est intensive à certaines heures, et nulle à d'autres. Il faut donc emmagasiner le débit total dans des réservoirs dont la contenance correspond à la consommation journalière et qui fourniront à chaque instant ce qui est nécessaire aux besoins momentanés. Ce sont donc de véritables volants de consommation.

Nous verrons tout à l'heure comment ils seront installés.

281. *Canalisation de distribution.* — Il nous suffit, pour le moment, de savoir qu'un réservoir sera placé au début de la canalisation intérieure, et assez haut pour que l'on ait une pression permettant

de parvenir aux étages; il est même bon qu'on ait assez de pression pour pouvoir se servir de l'eau en cas d'incendie.

Enfin, la canalisation doit avoir un diamètre convenable pour fournir la quantité d'eau nécessaire aux heures de service intensif ou pour le service d'incendie.

Dans un établissement important, comprenant plusieurs bâtiments dispersés sur une grande étendue, il est en outre nécessaire que la canalisation forme un *circuit fermé* sur le réservoir. Cela permet d'isoler des parties de la canalisation pour les réparations, sans être forcé d'interrompre le service sur tout le reste du parcours, et, de plus, si la consommation est particulièrement intense en certains points, l'eau peut y parvenir des deux côtés à la fois.

C'est sur ce circuit général que s'amorcent les branchements destinés à l'alimentation des différentes prises.

282. Réservoirs. — Les réservoirs se font en tôle ou en ciment armé. Ils sont de forme rectangulaire pour les plus petits, ou cylindrique dans la plupart des cas.

Si l'on n'a pas besoin d'eau en pression, ou si l'on peut utiliser un point haut du terrain à une certaine distance, pour y placer le réservoir, celui-ci est enterré ou recouvert de terre, ce qui permet d'avoir de l'eau fraîche pour la boisson. En pareil cas, on construit généralement en maçonnerie ou en ciment armé.

Le plus souvent; cependant, on les place sur une tour circulaire en maçonnerie, ou sur un pylône en treillis de fer ou en béton armé.

Dans les réservoirs élevés sur tambour ou pylône, le fond peut être plat; mais il est nécessaire alors de soutenir ce fond par une travure particulièrement solide.

Il est mieux d'adopter, pour la tôle, un fond en calotte sphérique concave, où le métal travaille à la traction.

Lorsque le réservoir est en béton armé, le fond est au contraire en calotte convexe, de manière à utiliser la bonne résistance du béton à la compression.

Enfin, lorsque le réservoir a un très grand diamètre, et en particulier s'il est en béton armé, le fond comporte une calotte convexe de diamètre plus petit, raccordée avec la paroi cylindrique par un tronc de cône.

Cette disposition permet d'asseoir le réservoir par l'arête saillante

formée par la jonction de la calotte et du tronc de cône, sur un tambour de dimensions réduites.

En outre, les poussées dues aux deux éléments du fond donne lieu à une résultante verticale, qui fatigue moins le tambour servant de support.

Les parois cylindriques d'un réservoir en tôle sont formées d'un certain nombre de viroles rivées les unes sur les autres et dont l'épaisseur croît avec la hauteur de l'eau.

283. — La *tuyauterie* comprend : un tuyau d'amenée qui verse l'eau à la partie supérieure; un tuyau de distribution pénétrant par le fond qu'il dépasse de 10 à 20 cm. pour éviter l'entraînement des dépôts; ce tuyau est commandé par une vanne d'arrêt et de distribution; un trop-plein et un orifice de vidange percé au fond et fermé par un tampon.

Un flotteur indique d'ordinaire le niveau de l'eau dans le réservoir, et l'on place souvent à demeure une échelle en fer pour le visiter.

Enfin, si le réservoir doit servir à l'alimentation en eau potable, il est bon de l'entourer d'une enveloppe isolante en bois et de le couvrir d'une petite toiture, pour le tenir à l'abri du soleil.

284. — Le tableau ci-après donne quelques chiffres intéressants en ce qui concerne les réservoirs cylindriques en tôle.

Réservoirs en tôle.

CONTENANCE	DIAMÈTRE	HAUTEUR	POIDS TOTAL
12 m ³	2,60 m.	2,30 m.	2 420 kg.
15 —	2,80 —	2,45 —	2 340 —
20 —	3,20 —	2,50 —	2 740 —
50 —	4 —	4 —	4 380 —
100 —	5,50 —	4,15 —	6 880 —
150 —	5,50 —	5,10 —	9 300 —
200 —	6 —	7 —	12 400 —
300 —	8,40 —	5 —	19 400 —

285. Réservoirs en béton armé. — On trouvera, au besoin, dans le « Cours spécial de béton armé », tous les détails relatifs à la construction et au calcul des réservoirs en béton armé.

§ 5. — L'AIR ET LA LUMIÈRE A L'USINE VENTILATION ET DÉPOUSSIÉRAGE

286. Causes qui vicient l'air. — La pureté de l'air est un facteur essentiel de notre état de santé, et, lorsqu'il s'agit de travailleurs, elle intervient dans le rendement de leur production.

Or, dans des ateliers, l'atmosphère est viciée par les produits volatils de la respiration et de la transpiration des occupants eux-mêmes, en même temps que par les vapeurs, souvent acides et toxiques, et par les poussières résultant des opérations de l'atelier.

Il faut renouveler l'air par la ventilation, et enlever rapidement les vapeurs et les poussières par des moyens appropriés.

287. Influence de l'acide carbonique. — L'air contient normalement par mètre cube une quantité $\alpha = 0,0003$ à $0,0004$ m³ d'anhydride carbonique (CO²). Un adulte au repos exhale par la respiration 20 l. de CO² par heure et cette quantité va de 40 à 60 l. lorsqu'il se livre à un travail un peu pénible et régulier, où $\lambda = 0,04$ m³. La quantité produite par n ouvriers sera donc $n\lambda$.

On a fait remarquer que l'acide carbonique, il est vrai, n'est pas toxique par lui-même; mais, comme il est accompagné de gaz et de vapeurs organiques toxiques ou tout au moins malsaines, on considère que l'atmosphère devient irrespirable, nuisible à la santé et susceptible de diminuer le rendement quand elle contient $p = 0,0008$ d'acide carbonique : celui-ci est donc en quelque sorte un *témoin* de la viciation.

Les effets sont d'autant plus intenses que la chaleur humide est plus grande, en sorte que 25° semblent une température critique qu'il ne faut pas dépasser, et l'on en peut conclure que, dans une forge par exemple, la haute température exige que l'air soit d'autant plus pur.

L'air qui s'introduit par les joints des portes et fenêtres ne suffit pas à maintenir la teneur en état de régime que l'on ne doit pas dépasser et qui est, on vient de le voir, $p = 0,0008$. Il faut donc recourir à des moyens artificiels, soit en ouvrant des orifices spéciaux pour l'entrée de l'air pur et la sortie de l'air vicié, soit en employant des ventilateurs mécaniques.

On devrait également tenir compte de l'acide carbonique produit par les appareils d'éclairage, lorsque l'on n'emploie pas les lampes électriques par incandescence.

288. Volume nécessaire de l'air de renouvellement. — Le problème se pose ainsi : les diverses causes que nous venons d'indiquer produisant par heure un volume A d'acide carbonique, quel volume Q d'air pur faut-il introduire pour qu'à l'état de régime l'atmosphère du local reste à la teneur $p = 0,0008$ m³?

L'air introduit contient Qa de CO_2 ; la même quantité d'air vicié que l'on évacue en contient Qp . La différence $Q(p - a)$ doit être évidemment la quantité produite par les ouvriers, l'éclairage, etc., et l'on doit avoir par conséquent :

$$Q(p - a) = A$$

ou

$$Q = \frac{A}{p - a}$$

Si V est le volume du local, $m = \frac{Q}{V}$ est le nombre de fois qu'il faut renouveler l'air par heure. C'est généralement ce nombre que l'on indique.

289. Détermination des orifices. — L'air vicié par la respiration est plus chaud que l'air ambiant, plus léger par conséquent, et il tend à monter.

Ouvrons un orifice près du plafond. La plupart du temps, l'air à l'intérieur sera à une pression plus forte qu'à l'extérieur : il sortira, et il tend à s'établir une zone d'égale pression à un niveau déterminé, entre l'intérieur et l'extérieur. Si nous ouvrons un second orifice au-dessous de cette zone, l'air frais entrera dans le local, remplaçant ainsi l'air vicié qui vient d'en sortir par le haut.

Or, examinons ce qui se passe.

À l'extérieur, la température est t_1 , la densité qui en résulte est d_1 , et si nous désignons la densité à zéro par d_0 on a

$$d_1 = d_0 \frac{1}{1 + \alpha t_1}$$

De même, à l'intérieur où la température est t_2 , la densité sera

$$d_2 = d_0 \frac{1}{1 + \alpha t_2}$$

Si l'orifice S est à une distance h de la zone d'égalité pression, la différence de poids des deux colonnes dans le local et à l'extérieur sera évidemment

$$p_1 - p_2 = h(d_1 - d_2) = d_0 \cdot \left(\frac{1}{1 + \alpha t_1} - \frac{1}{1 + \alpha t_2} \right)$$

ou en négligeant les termes α^2 très petits :

$$p_1 - p_2 = d_0 \alpha (t_2 - t_1) h.$$

C'est la pression motrice qui déterminera le mouvement de la pression la plus forte vers la pression la plus faible, et la vitesse sera

$$v = \sqrt{2g(p_1 - p_2)} = \sqrt{2gd_0 \alpha (t_2 - t_1) h}$$

et si S est la section d'orifice, on devra avoir :

$$\text{débit } Q = Sv.$$

Pour l'orifice S' situé à une hauteur h' au-dessus de la zone neutre, on aurait de même :

$$\begin{aligned} \text{vitesse } v' &= \sqrt{2gd_0 \alpha (t_2 - t_1) h'} \\ \text{débit } Q &= S'v' \end{aligned}$$

et en égalant les deux expressions du débit qui est le même pour les deux orifices, on en tire aisément :

$$\frac{S^2}{S'^2} = \frac{h'}{h}.$$

La zone neutre divise la hauteur totale en raison inverse des carrés des orifices.

On est donc le maître de placer la zone neutre à la hauteur qu'on se fixe, et comme les vitesses en dépendent en même temps, on voit que l'on peut régler les vitesses, tout au moins la vitesse inférieure qui seule nous intéresse, car un trop violent afflux d'air serait gênant pour les occupants. On ne dépasse guère $v = 0,50$ m. par seconde. On calcule les surfaces S et S' de manière à avoir le volume Q qu'on a reconnu nécessaire.

290. — Ce mode de ventilation automatique est depuis longtemps utilisé. Lorsque la température est plus élevée à l'intérieur ($t_2 > t_1$), l'air entre par l'orifice inférieur et sort par l'orifice supérieur. C'est

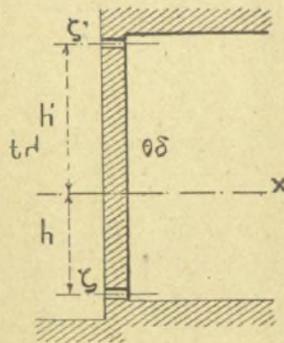


Fig. 142. — Écoulement par deux orifices et zone d'égalité pression.

généralement le cas en hiver. Mais on comprend que le sens du courant peut se renverser en été.

On garnit les orifices de ventelles qui permettent de régler un peu le débit suivant les besoins.

Le vent soufflant en rafales peut contrarier la sortie de l'air vicié quand l'orifice supérieur débouche directement dans la paroi du mur.

Il est mieux de le faire déboucher dans un faux grenier formé par un plafond incliné. On perce alors un orifice de régulation dans l'angle rentrant supérieur à l'aplomb du faitage, et l'air vicié s'échappe alors par un lanterneau persienné.

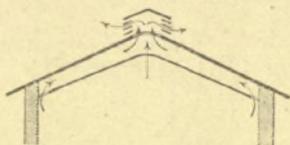


Fig. 143. — Évacuation par lanterneau.

291. Organes accessoires. — On a également préconisé l'emploi de vitres perforées et de carreaux Castaing formés d'une double vitre avec un écartement

de 2 à 3 cm., la vitre extérieure coupée à quelques centimètres au-dessus d'un petit bois, la vitre intérieure coupée au contraire à son bord supérieur, de manière que la circulation de l'air puisse se faire, sans que l'eau de pluie puisse entrer.

292. Procédés mécaniques. — Les procédés automatiques ne sont pas assurés, nous l'avons dit. Au contraire on peut provoquer un courant d'air d'un débit certain et d'un sens déterminé par des moyens mécaniques et l'on y aura souvent recours dans les usines, surtout lorsqu'on devra enlever les poussières dès leur formation.

a) *Appel par injecteurs.* — On peut déterminer un appel dans une gaine ou cheminée verticale, soit en chauffant la colonne d'air au moyen d'un bec de gaz, soit en y projetant au moyen d'un injecteur un mince filet très rapide d'air, d'eau ou de vapeur; l'emploi de la vapeur a en outre l'avantage, non seulement d'entraîner l'air par la tuyère qui l'enveloppe, mais de l'échauffer, ce qui augmente l'appel.

b) *Emploi de ventilateurs.* — On peut également y employer des ventilateurs, soit en refoulant de l'air dans le local où la pression, tendant à s'élever, détermine le départ d'un volume équivalent d'air vicié par des orifices d'évacuation, soit au contraire l'appel de l'air vicié et son refoulement dans la cheminée d'évacuation.

Nous aurons l'occasion de revenir sur la question des ventilateurs quand nous traiterons des cheminées d'usine à tirage artificiel.

293. Dépoussiérage. — L'enlèvement des poussières n'est qu'un cas particulier de l'évacuation de l'air vicié; mais il importe d'adopter un dispositif qui les fasse disparaître au moment même de leur formation, sans leur donner le temps de se répandre dans le local et d'atteindre, soit les yeux, soit les muqueuses des ouvriers.

Une hotte avec cheminée d'appel permet d'évacuer les poussières en même temps que les buées.

Dans les industries textiles, où les fines poussières de coton ou de laine sont particulièrement gênantes, on enveloppe les machines et ce coffre est mis en communication avec une gaine dans laquelle un ventilateur produit l'appel nécessaire.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce problème, qui appelle autant de solutions qu'il y a de cas particuliers.

CHAPITRE XII

CHAUFFAGE. UTILISATION INDUSTRIELLE DE LA CHALEUR

§ 1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — Causes de déperdition de la chaleur d'un local. — Températures nécessaires. — État hygrométrique.

§ 2. APPAREILS DE CHAUFFAGE DOMESTIQUE ISOLÉS. — Cheminées, poêles, poêles à gaz.

§ 3. CHAUFFAGE COLLECTIF. — A. *Chauffage à l'air chaud*: calorifères à air chaud. — B. *Chauffage à l'eau chaude*: principe de la distribution. Boucles horizontales; boucles verticales; chaudières; vase d'expansion; canalisation; surfaces de chauffe: a) Chauffage à basse pression; b) à haute pression. — C. *Chauffage par la vapeur*; avantages; inconvénients: a) Chauffage à très basse pression; chaudière; distribution; b) Chauffage par vapeur à haute pression; inconvénients.

§ 1. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

294. — L'ingénieur qui construit un établissement industriel doit se préoccuper des installations de chauffage, non seulement des locaux habités ou des bureaux, mais aussi des ateliers eux-mêmes. Le travail sera d'autant plus productif que les ouvriers ne seront pas gênés par le froid, et cette raison s'ajoute au souci de ménager leur santé⁽¹⁾.

Nous aurons à examiner en outre l'emploi industriel de la chaleur et notamment la construction des grandes cheminées d'usine et les salles de chaufferie.

295. Causes de déperdition. — On sait que la température du corps humain est de 37°.

(1) Nous ne donnerons dans ce chapitre que des indications très générales sur le chauffage des habitations, sujet qui est traité complètement dans la Neuvième partie du Cours détaillé du Bâtiment: Ventilation et chauffage, que l'on voudra bien consulter pour plus de détail.

L'être vivant perd de la chaleur par la respiration et la transpiration; cette chaleur tend donc à élever la température du local.

Si la température du milieu ambiant est t_1 , on calcule souvent la perte de calorique en une heure par la formule

$$C = 6(37^\circ - t) \text{ calories.}$$

D'autre part, cette production de chaleur est loin de compenser les déperditions occasionnées, d'une part par la chaleur qu'emporte l'air vicié évacué, d'autre part par l'échange de chaleur par les murs vitrages et parois quelconques entre le local et l'atmosphère extérieure.

a) *Calcul de la chaleur entraînée par l'air de ventilation.* — Si l'on introduit un volume Q d'air à la température t_1 et qu'il soit évacué à la température t_2 , la quantité de chaleur que cet air a absorbée et qu'il entraîne avec lui est, en calories

$$A = 0,306Q(t_2 - t_1).$$

b) *Déperdition par les parois.* — La chaleur se transmet à travers les parois, ou d'un milieu à un autre, de trois façons :

- Par *conduction* (ou conductibilité);
- *rayonnement* (ou radiation);
- *convection* (ou contact).

Chacun de ces modes de transmission est caractérisé par un coefficient expérimental qui est le nombre de calories transmises par m^2 de surface du corps envisagé.

La conduction entre en jeu pour les parois épaisses, les murs pas exemple; la quantité qui les traverse par m^2 , dans l'unité de temps est proportionnelle à leur coefficient de conductibilité c et à la différence de température, mais en raison inverse de leur épaisseur e .

Pour les parois minces par conséquent, la conduction n'intervient pas, tandis que généralement, le rayonnement et la convection sont alors simultanés. Encore ici les quantités transmises sont proportionnelles à la différence de température et à un coefficient dépendant de la nature du corps.

Pour les substances qui nous intéressent dans le chauffage, le coefficient de radiation est :

Cuivre rouge poli	$c = 0,16$	Tôle ordinaire	$c = 2,77$
Laiton poli	0,26	Fonte neuve	1,37
Tôle polie	0,45	Tôle et fonte oxydées	3,36
— plombée	0,65	Verre	2,91

La convection entre en jeu quand la surface d'un corps est en contact avec un fluide, air ou eau, dont les molécules viennent tour à tour toucher la surface, lui enlever un peu de chaleur qu'elles vont disperser dans le milieu fluide. On conçoit donc que l'influence de la convection sera d'autant plus grande que le fluide est plus agité. Pour l'air ce coefficient f aura les valeurs :

Dans une enceinte fermée	$f=4$
A l'air libre calme	$f=5$
— agité	$f=6$

Les quantités de chaleur transmises sont encore proportionnelles à la différence de température. Toutefois quand celle-ci dépasse 25° , les coefficients augmentent graduellement. Au lieu des coefficients r de radiation, f de convection indiqués, on prend mr et nf , m et n ayant les valeurs suivantes pour une différence $t-\theta$ déterminée :

$t-\theta$	25°	50°	75°	100°	125°	150°	175°	200°	225°	250°
m	1,20	1,31	1,50	1,62	1,80	2,02	2,27	2,56	2,88	3,10
n	1,12	1,37	1,51	1,61	1,70	1,78	1,83	1,89	1,95	2,00

Le coefficient de conduction et convection simultanées est alors $K = mr + nf$.

Ces considérations sont utiles à l'ingénieur qui a fréquemment à calculer la surface d'un serpentín dans une étuve, ou des problèmes analogues sur les surfaces de chauffe.

Dans les cas les plus simples, il suffira de prendre :

Pour une paroi de tôle mince : $K = 7$

Pour un vitrage :

	En air calme.	En air agité.
Verre simple à nu	$k = 3,66$	4,4
— recouvert d'une mousseline	3,00	3,60
Vitrage horizontal (couverture	} simple	6,00
ou plafond).		

296. Températures nécessaires du chauffage. — La température à entretenir dans un local varie suivant la destination de celui-ci.

Dans les salles et chambres d'une habitation, on se contente généralement de 16° . Dans un hôpital, au contraire, où les occupants sont en état de dépression physique et ne fabriquent pas eux-mêmes

assez de calories, il faut évidemment leur en fournir et l'on élève la température à 18 ou 20°.

Dans les ateliers enfin, la température peut être d'autant plus basse que les ouvriers se livrent à un effort musculaire plus énergique.

D'après Lebrasseur, on pourrait admettre :

	Température	
	Minim.	Maxim.
Travail sédentaire sans effort violent	15°	20°
— — avec effort musculaire	13°	18°
— de force	10°	15° en hiver.

297. État hygrométrique. — A mesure que l'air s'échauffe, la vapeur d'eau qu'il contient se détend; l'on dit que l'air est sec. Il en résulte une action désagréable sur nos muqueuses et il est nécessaire de donner à l'atmosphère ambiante le supplément d'humidité qui correspond à sa température.

§ 2. — APPAREILS DE CHAUFFAGE DOMESTIQUE ISOLÉS

298. — Pour chauffer directement un local, indépendamment de ses voisins, on utilise des foyers ouverts ou fermés.

a) Les *cheminées* ordinaires sont des foyers ouverts. Le chauffage n'a lieu que par rayonnement. En outre, le grand afflux d'air qui refroidit le combustible en ignition et emporte une grande partie de la chaleur produite avec les fumées dans la gaine d'évacuation, a pour effet de réduire beaucoup le rendement qui ne dépasse guère 15 p. 100.

On a cependant amélioré les foyers ouverts par divers procédés qui tous ont pour objet de faire circuler de l'air pris au dehors, sur des surfaces de chauffe, avant de le faire échapper par des bouches de chaleur dans la chambre.

b) Les *foyers fermés* ou *poêles* métalliques ou céramiques n'ont pas les mêmes inconvénients et donnent notamment un meilleur rendement. Leurs parois constituent de bonnes surfaces de chauffe par rayonnement et convection simultanés. Un étroit orifice, ménagé dans le cendrier, sous la grille, permet de limiter la quantité d'air

à ce qui est nécessaire pour une combustion complète. Cette petite quantité d'air limite aussi le volume des gaz à évacuer; la gaine se réduira donc à un tuyau de faible section, et ce tuyau en tôle servira lui-même de surface de chauffe dans la partie qui traverse le local.

Un poêle en fonte a l'inconvénient de rougir; l'acide carbonique qui est en pression à l'intérieur traverse alors la paroi devenue poreuse par la dilatation; il se décompose en cédant de l'oxygène au métal rouge, et c'est en définitive de l'oxyde de carbone qui se dégage dans la chambre. On y remédie en munissant la paroi d'ailettes qui, augmentant la surface de rayonnement, empêchent le métal de rougir et en même temps donnent plus de chaleur.

Nous ne parlerons des *appareils à combustion lente* que pour signaler leurs dangers et dire qu'il les faut proscrire des ateliers.

298^{bis}. Poêles à gaz. — Enfin on utilise également des *poêles à gaz* susceptibles d'un bon emploi, surtout pour un chauffage intermittent. Ils chauffent par rayonnement direct, mais surtout par rayonnement des surfaces métalliques qui entourent les becs à flamme-nue ou à manchons incandescents

On estime que, pour élever de 0 à 15° la température d'un local de 45 m³, il faut brûler d'abord 720 l. de gaz pour la mise en train et continuer ensuite à raison de 320 l. à l'heure afin de maintenir cette température, soit 16 l. par m³ d'air pour le chauffage préalable, et ensuite 8 l. à l'heure pour l'entretien de la température.

299. — Avec tous ces appareils, il est bon de s'assurer, comme nous l'avons dit, que l'air chauffé conserve néanmoins la quantité d'humidité convenable, et, dans ce but, il convient de disposer des récipients d'eau sur le parcours de cet air ou autour du cendrier des poêles.

§ 3. — CHAUFFAGE COLLECTIF

300. — Ces divers modes de chauffage sont insuffisants quand il s'agit de bâtiments importants, et surtout de bâtiments industriels, où l'on aura recours à ce qu'on appelle le chauffage central.

Dans ce but, on a créé des calorifères à air chaud, à eau chaude et à vapeur.

A. — CALORIFÈRES A AIR CHAUD

301. — Un calorifère à air chaud constitue une amplification des poêles à double enveloppe. Leur principe consiste à opérer la combustion dans un récipient spécial, et à faire circuler l'air frais, puisé à l'extérieur, autour de ce foyer de chaleur. On conduit enfin cet air chauffé jusqu'aux divers locaux compris dans le rayon d'action du calorifère, et où l'air se répand par des bouches de chaleur.

302. — Il existe de nombreux modèles de calorifères. On peut se contenter, par exemple, d'enfermer un gros poêle à ailettes dans une enveloppe rectangulaire en briques.

Pour les types de grande puissance, on établit un foyer vertical alimenté au moyen d'une trémie-magasin oblique fermée par une ventelle en avant de la façade. Les gaz chauds de la combustion s'échappent par le haut du foyer et, avant d'arriver à la gaine de fumée, parcourent des tuyaux à ailettes disposés de manière à former des batteries de serpentins dans une chambre de chauffe ménagée entre le foyer et la chemise extérieure en briques.

La fumée parcourt ce circuit en descendant. L'air frais pris au dehors est introduit au contraire par le bas et s'échauffe en montant à travers les tuyaux à ailettes, suivant le principe de la circulation méthodique.

Les caractéristiques sont généralement les suivantes :

Températures :

Des gaz de combustion	600°
Des fumées dans la cheminée	200°
De l'air extérieur chauffé	60 à 70°
— aux bouches de chaleur	40°

Il est encore important ici de surveiller la saturation de l'air au point de vue hygrométrique.

303. Calorifères à tables réfractaires. — Au lieu d'un foyer où le combustible est versé en masse sur une grille, on peut étendre ce combustible en mince épaisseur sur des tables en terre réfractaire superposées et disposées en chicanes, c'est-à-dire appuyées alternativement au mur de fond et au mur de face, laissant ainsi un intervalle du côté opposé.

Ce dispositif permet de brûler les poussières, les combustibles les plus pauvres et même les déchets de la maison. On recharge seulement toutes les douze heures (matin et soir). Pour cela on ouvre les portes de façade qui permettent, avec un râteau, de faire tomber le combustible d'un étage, celui de l'étage inférieur, épuisé, tombant dans le cendrier. On remet alors du combustible frais sur la table supérieure seulement.

L'air frais, montant autour de la cheminée en briques, s'échauffe encore sur des batteries de tuyaux servant à l'écoulement de la fumée.

Ce type de calorifère, dû à Michel Perret, donne un chauffage très économique et convient très bien pour une maison de moyenne importance, mais il est bon de le prévoir dans la construction afin de ménager dans les maçonneries toutes les gaines nécessaires.

304. Conduites d'air chaud. — Les gaines d'air chaud sont nécessairement d'une section assez grande, en raison du volume d'air qu'il faut véhiculer. On les fait surtout en wagons de terre cuite, et on les recouvre de plâtre pour diminuer la déperdition.

En principe, chaque bouche de chaleur devrait être desservie par une gaine, pour que les bouches ne se gênent pas mutuellement, quelques-unes offrant moins de résistance et prenant tout le débit. Mais on se contente de ne réunir sur la même gaine que les bouches de chaleur d'un étage.

Pour être efficace, le chauffage à l'air chaud ne doit pas s'étendre jusqu'à des points situés horizontalement à plus de 15 m. du calorifère; le rendement deviendrait ensuite insuffisant.

B. — CHAUFFAGE A EAU CHAUDE

305. — Lorsque la longueur de la conduite horizontale dépasse cette limite de 15 m., il faut recourir, comme véhicule de chaleur, à l'eau chaude ou à la vapeur.

306. Principes généraux de la distribution. — Le système général comporte :

- 1° Chaudière A, placée dans le sous-sol, à un niveau inférieur à celui des appareils de chauffe;
- 2° Un vase d'expansion dont nous verrons le rôle;
- 3° Des appareils de chauffe ou radiateurs;
- 4° Une canalisation reliant tous ces organes.

La forme classique de la distribution peut se résumer ainsi :

De la chaudière, généralement à foyer intérieur, part une *colonne montante* qui, prenant l'eau dans la région la plus chaude de la chaudière, va directement jusqu'au *vase d'expansion* placé dans les combles.

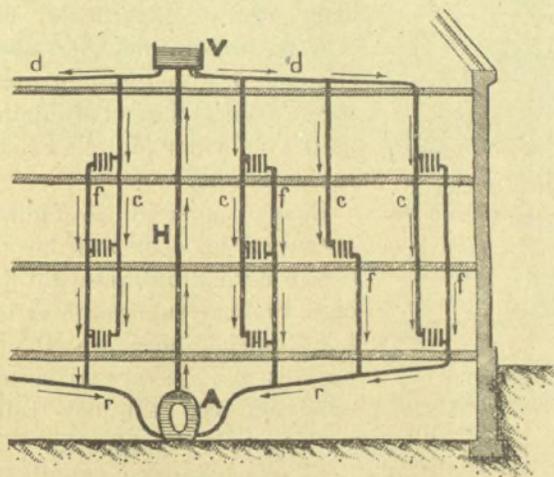


Fig. 144. — Distribution d'eau chaude.

A, Chaudière; H, colonne montante; V, vase d'expansion; d, collecteur de distribution; r, collecteur de retour; c, eau chaude; f, eau froide.

Ce vase d'expansion est nécessaire pour permettre à l'eau de se dilater en s'échauffant. De sa partie basse part une *conduite de distribution*, sur laquelle se greffent des conduites descendantes alimentant les radiateurs où l'eau pénètre dans leur partie haute; la même colonne d'alimentation dessert tous les appareils superposés sur la même verticale.

L'eau sort par le bas des radiateurs. Elle est refroidie de toute la chaleur dépensée par les radiateurs; il ne faut donc pas la rejeter dans la colonne chaude : elle s'écoule par une conduite spéciale qui dessert encore tous les radiateurs superposés et se rend dans un *collecteur de retour* placé dans le sous-sol et qui ramène enfin l'eau refroidie dans la chaudière à sa base.

307. Distribution par boucles horizontales. — Suivant les circonstances, on peut réaliser d'autres types de distribution. En particulier,

si l'on veut rendre le chauffage indépendant dans les divers étages occupés par des locataires différents, il sera bon d'adopter une distribution par *boucles horizontales*.

Chaque étage a sa conduite particulière, qui se plie pour former la boucle horizontale, présentant ainsi deux tuyaux superposés, longeant la plinthe près du plancher, sur toute son étendue; la conduite doit être en pente légère pour faciliter l'écoulement et permettre de vider toute la canalisation en cas de besoin.

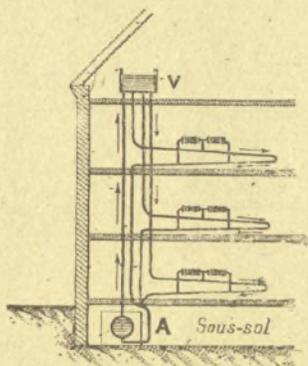


Fig. 145. — Distribution par bouches horizontales.

Chaque appareil de radiation est à cheval sur les deux branches de la boucle (ou en dérivation), recevant l'eau chaude de la branche supérieure et la restituant à la branche inférieure. Par ce moyen, on voit que les appareils successifs ne reçoivent pas l'eau déjà refroidie dans les appareils précédents.

Ce mode de distribution se prête bien au chauffage d'ateliers situés sur un même plan horizontal.

308. b) Système à boucles verticales. — Les radiateurs étant le plus souvent superposés aux divers étages, on peut les grouper non plus par étage et sur des boucles horizontales, mais sur des boucles verticales.

Le collecteur supérieur de distribution n'est plus dans le grenier; on le reporte dans le sous-sol où se trouve le calorifère, en constituant ainsi un circuit collecteur horizontal qui, prenant l'eau dans la région supérieure de la chaudière, la ramène dans la région inférieure. Ce circuit peut ainsi être considéré comme formé d'une conduite d'aller à haute température, et d'une conduite basse de retour pour l'eau refroidie.

Sur la conduite chaude, on greffe autant de colonnes montantes qu'il y a de boucles et chaque boucle comporte, en outre, une colonne descendante aboutissant au collecteur de retour.

Chaque radiateur est placé en dérivation entre la colonne montante et la colonne descendante d'une même boucle. Enfin l'une des

colonnes montantes est prolongée et communique avec un vase d'expansion.

309. Chaudières — On emploie d'une manière générale un type quelconque de chaudière à foyer intérieur ou tubulaire. On construit également, pour les grandes installations, des chaudières en fonte divisées en tranches verticales toutes identiques, sauf celles du fond et de la façade; ce système facilite beaucoup les manutentions et les transports. Il permet, avec un matériel unique, d'obtenir des chaudières de puissance graduée.

310. Vase d'expansion. — Le plus souvent, le vase d'expansion est un récipient cylindrique disposé verticalement et terminé par deux fonds en calotte sphérique.

Si le chauffage doit se faire à basse pression, une tubulure met sa partie supérieure en communication avec l'air libre, de manière que le liquide soit toujours à la pression atmosphérique.

Dans le cas où le chauffage est à haute pression, on remplace cette tubulure par une soupape de sûreté calée à la pression voulue.

Il convient d'assurer l'alimentation automatique du système, de telle sorte que le niveau soit à peu près constant dans le vase d'expansion dont le volume est déterminé de manière à loger l'augmentation de volume produite par la dilatation.

311. Canalisation. — Les tuyaux de conduite sont en fonte pour les diamètres supérieurs à 80 mm., ou en fer étiré pour les petits diamètres.

Les jonctions se font à emboitements ou à bagues pour les tuyaux en fonte; on peut réunir les tuyaux en fer au moyen de bagues taraudées à deux sens se vissant sur les deux bouts filetés.

On entoure les tuyaux d'enveloppes isolantes dans toutes les parties servant uniquement au transport de la chaleur, pour éviter les déperditions.

312. — Il convient d'assurer la libre dilatation des conduites, au moyen de *joints de dilatation*. Il suffit, pour les tuyaux de petit diamètre, de les contourner en forme de S; pour les gros diamètres on interpose des joints à presse-étoupes, ou des boîtes de compen-

sation analogues aux rondelles Belleville, formées de capsules sphériques soudées bord à bord.

313. Surfaces de chauffe. — *Radiateurs*. — Les surfaces de radiation sont formées, suivant les cas :

1° De *serpentins en tube de cuivre ou de fer*;

2° De *tuyaux à ailettes* que l'on peut grouper en batteries en les superposant et en les réunissant par des coudes;

3° De *poêles verticaux à ailettes longitudinales*;

4° De *radiateurs spéciaux* formés par des fuseaux creux qu'on groupe côte à côte en nombre suffisant pour réaliser la surface de radiation nécessaire. Ces fuseaux portent à chaque extrémité l'amorce d'un collecteur. Une fois juxtaposés et serrés les uns contre les autres au moyen d'une tige filetée traversant les collecteurs sur toute leur longueur, il suffit d'opérer la jonction du collecteur supérieur avec la colonne montante qui y déversera l'eau chaude, et du collecteur inférieur avec la colonne descendante qui évacuera l'eau refroidie.

314. a) Chauffage à basse pression. — Le mode d'emploi le plus simple de l'eau chaude pour le chauffage consiste à l'utiliser à basse pression.

Le vase d'expansion étant ouvert, et par conséquent à la pression atmosphérique, la pression dans la chaudière est mesurée par le poids de la colonne liquide située au-dessus d'elle. La température de l'eau ne dépasse donc pas sensiblement 100° et l'on peut admettre que la température moyenne de la colonne montante jusqu'au vase d'expansion sera de 95°, et si l'on va jusqu'aux appareils de chauffe, de 85°.

Si l'on admet que l'eau sort des radiateurs à 60° et n'a plus que 55° à sa rentrée dans la chaudière, soit une moyenne de 57,5 on a tous les éléments pour le calcul du système.

Considérons un circuit simple dans lequel ne sont intercalés qu'une chaudière A et un radiateur R, désignons par t' la température de la colonne de la chaudière au radiateur et t'' celle de la colonne inverse qui ramène l'eau refroidie.

Le poids spécifique varie avec la température et Planat en a donné la valeur approximative

$$d = 1,0086 - 0,0005 t$$

d' et d'' étant ainsi les poids spécifiques dans les deux colonnes, les colonnes pèseront respectivement Hd' et Hd'' et la différence sera la charge motrice qui déterminera le mouvement.

La vitesse sera

$$v = \sqrt{2gH(d' - d'')}.$$

Toutefois pour tenir compte des frottements qui ralentissent le mouvement, on introduira un coefficient A , ce qui donnera

$$v = A \sqrt{2gH(d' - d'')}.$$

Si l'on admet les températures moyennes $t' = 90^\circ$ et $t'' = 57,5$, il est facile de calculer $d' = 0,9798$ et $d'' = 0,9636$. La formule devient donc

$$v = A \cdot 0,564 \sqrt{H}.$$

Le coefficient A dépend du diamètre D et de la longueur L de la conduite. Sans donner ici les calculs qui y conduisent, nous admettrons la valeur

$$A = 3,75 \sqrt{\frac{D}{L}}.$$

345. *b*) Chauffage par l'eau à haute pression. — Le système de chauffage par l'eau chaude à basse pression n'utilise qu'une chute de température assez faible, 25° environ, chaque kilogramme d'eau n'étant susceptible d'abandonner ainsi que 25 calories pour le chauffage.

Pour fournir un nombre déterminé de calories C , il est donc nécessaire de faire passer par chaque radiateur un volume d'eau assez important.

D'autre part, en raison même de cette faible limite de température, la vitesse de circulation est faible aussi, et il en résulte que le diamètre des conduites est relativement considérable.

L'installation est donc coûteuse; la mise en train est lente, puisqu'il faut réaliser le chauffage préalable de toute cette masse d'eau, et le réglage du régime est assez délicat.

On aurait par suite tout intérêt à augmenter la chute de température, ce qui ne peut se faire qu'en chauffant l'eau sous pression.

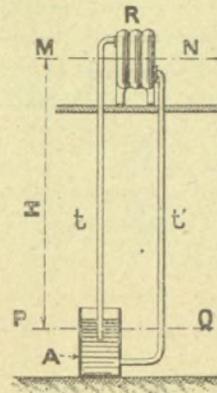


Fig. 146. — Principe du thermo-siphon.

Correspondance des pressions en atmosphères et des températures.

ATMOSPHÈRES	TEMPÉRATURES	ATMOSPHÈRES	TEMPÉRATURES
1	100°	9	175°,77
2	120°,6	10	180°,31
3	133°,9	11	184°,50
4	144°	12	188°,40
5	152°,22	13	192°,08
6	159°,22	14	195°,33
7	165°,34	15	198°,80
8	170°,81	16	201°,90

Grâce à la différence plus grande des températures de départ et de retour, la vitesse de circulation est augmentée, et l'on peut réduire le diamètre des tuyaux; on utilise alors des diamètres intérieurs de 15 à 25 mm., mais la canalisation doit avoir une résistance qui corresponde à la pression, ce qui exige une épaisseur de paroi de 6 mm. environ.

En outre, l'augmentation de pression ne s'obtient qu'en opérant en vase clos, ce qui oblige à interposer des appareils de sûreté qui, eux-mêmes, n'excluent pas la nécessité d'une surveillance attentive pour prévenir les explosions.

Il y a donc, en définitive, économie d'installation, mais obligation de prendre des précautions multiples.

316. — On peut toutefois obtenir une accélération de vitesse de circulation sans élever la pression dans la chaudière par certains artifices, notamment en injectant de la vapeur sur le parcours.

Il se fait une véritable émulsion de l'eau par la vapeur injectée; la densité de la colonne est ainsi diminuée et le but est atteint puisqu'il s'agit de réaliser une différence de densité plus grande entre cette colonne montante et la conduite de retour.

Plusieurs constructeurs ont établi des appareils fondés sur ce principe et qui donnent de bons résultats; mais nous ne saurions ici nous étendre à ce sujet.

B. — CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR

317. Ses avantages. — Un grand nombre d'établissements industriels possèdent des générateurs de vapeur pour les besoins de leur production ou de leur force motrice; il est donc naturel de les utiliser pour le chauffage.

En outre, la vapeur est un excellent véhicule de la chaleur. C'est pour ainsi dire un véritable magasin de chaleur, puisque, par le seul fait de la vaporisation, elle commence par absorber les 537 calories qui constituent sa chaleur latente de vaporisation, qu'elle devra ensuite restituer par la condensation, sans parler des calories que l'eau de condensation peut encore abandonner, si elle se refroidit elle-même au-dessous de 100°.

L'emploi de la vapeur présente sur l'emploi de l'eau chaude l'avantage d'une vitesse de circulation plus grande (20 à 40 m. par seconde) qui permet de réduire le diamètre des canalisations et par suite les frais de premier établissement.

Enfin, il permet de franchir des distances plus considérables.

318. Inconvénients de la vapeur. — D'autre part, en comparaison avec l'eau chaude, la vapeur n'est pas sans présenter un inconvénient qu'il convient de signaler et qui se manifeste lorsque le chauffage est intermittent.

Dans les locaux habités, on a coutume de couvrir le feu pendant la nuit. Or, la pression tombe dans la canalisation à partir du moment où la température n'atteint plus 100°; la vapeur se condense et tout le système se refroidit complètement, nécessitant une nouvelle mise en train quand on pousse les feux, le matin.

L'eau chaude, dans les mêmes circonstances, se refroidit évidemment, mais comme néanmoins elle conserve une température de 40° à 50°, elle continue à circuler.

De ce fait, on peut estimer que la dépense de combustible est de un tiers plus élevée avec la vapeur qu'avec l'eau chaude.

Néanmoins, dans les locaux industriels produisant de la vapeur, il est naturel de l'appliquer au chauffage.

319. a) Chauffage à très basse pression. — Lorsqu'on emploie de la vapeur à haute pression, on est forcé de prendre des précautions

contre les chances d'explosion et les générateurs sont soumis au contrôle de l'administration des mines; mais cet inconvénient disparaît si l'on ne fait usage que d'appareils à très basse pression, ne dépassant pas 200 à 250 g. par cm^2 .

Dans ce cas, le générateur doit être disposé de manière à ce que cette limite de pression ne puisse jamais être dépassée. Toute autre précaution, tout autre appareil de sécurité peuvent être alors évités, et il en résulte une très grande simplification.

320. Chaudière à basse pression. — Une chaudière à basse pression est formée par un foyer dont les gaz chauds traversent par un faisceau

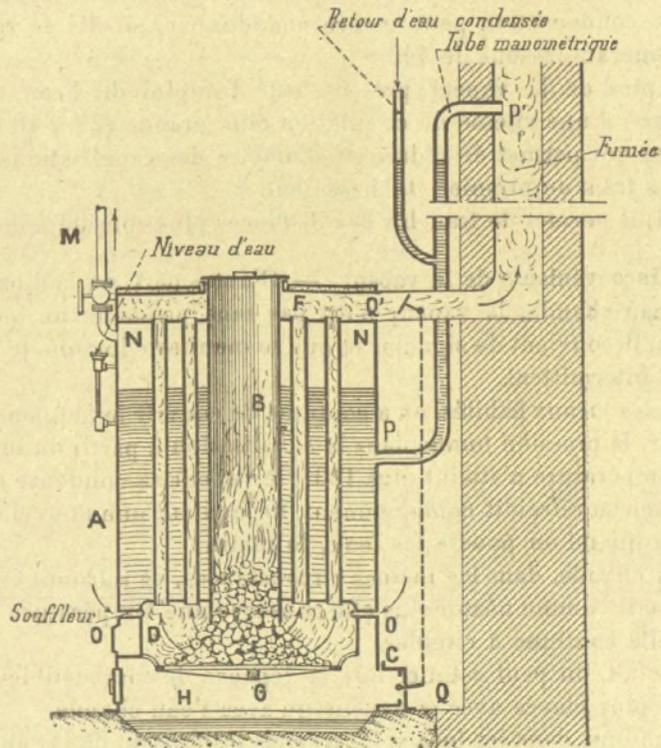


Fig. 147. — Chaudière à vapeur à basse pression.

de tubes un corps plein d'eau avant de s'échapper par la cheminée. L'eau est donc chauffée directement par le contact avec le ciel du

foyer et les parois des tubes. La vapeur se forme dans un dôme supérieur sur lequel sont pris les tuyaux de départ.

L'eau de condensation est ramenée par un tube de retour à la base de la chaudière.

Pour empêcher la pression de monter au delà de la limite imposée, on dispose, à une distance suffisante au-dessous du niveau de l'eau, un tube manométrique pp' dont la longueur est de 2,50 m. à 3 m. ; cette hauteur correspond à une pression de 250 à 300 g. par cm^2 . Si la pression de la vapeur, dans le dôme, augmente, elle refoule l'eau par le tube manométrique; le niveau de l'eau peut s'abaisser alors par suite du libre échappement, sans que la pression puisse s'accroître sensiblement. Tout ce qui peut se produire, c'est que le niveau atteigne l'orifice inférieur du tube; à ce moment, la vapeur elle-même s'échappe à l'air libre, évitant ainsi toute chance d'explosion.

321. Réglage du tirage. — Il importe évidemment, pour le bon fonctionnement, d'éviter d'en arriver là, en réglant le tirage et le foyer de manière à produire la quantité de chaleur qui est juste nécessaire. On y parvient en munissant l'entrée de l'air sous le cendrier et la sortie des gaz de la combustion, dans la cheminée, de valves automatiques reliées entre elles et qui se ferment plus ou moins lorsque la pression tend à s'accroître.

322. Calcul de la puissance de la chaudière. — Si l'on a déterminé au préalable la quantité de chaleur C en calories qu'il est nécessaire de fournir, on comptera que 1 kg. de vapeur en se condensant à 100° abandonnera 537 calories ou même 500 calories seulement pour tenir compte des pertes.

La chaudière devra donc vaporiser par heure un nombre Q de kg. de vapeur représenté par la relation

$$Q = \frac{C}{500}.$$

Cette indication suffit pour déterminer la puissance de vaporisation de la chaudière, dont le type sera choisi sur les albums de constructeurs qui donnent toutes les caractéristiques nécessaires.

On sait d'ailleurs que 1 kg. de charbon suffit à vaporiser 8 kg.

d'eau en nombre rond; on aura donc la consommation horaire en charbon P_c par la relation

$$P_c = \frac{Q}{8}.$$

323. Distribution. — La vapeur étant compressible, la canalisation de vapeur ne comporte pas de vase d'expansion.

Le système de distribution le plus simple est le système à circuit collecteur en sous-sol, avec boucles verticales analogues à celles que nous avons indiquées pour le chauffage à l'eau chaude. C'est le système à deux tuyaux.

La canalisation est en fer étiré, avec enveloppe isolante sur les parcours qui ne sont pas à chauffer.

Les radiateurs sont des tuyaux à ailettes ou des radiateurs à fuseaux; ceux-ci peuvent, comme pour l'eau chaude, avoir une entrée de vapeur à la partie haute et une sortie à la partie basse; toutefois, en raison de la facile diffusion de la vapeur, on se contente le plus souvent d'un seul collecteur inférieur où la vapeur entre par un bout tandis que, par l'autre, sortent à la fois ce qui reste de vapeur et l'eau de condensation; la force d'expansion de la vapeur suffit à la faire circuler dans les fuseaux.

On ne doit admettre dans chaque radiateur que la quantité de vapeur qu'il peut condenser. A l'entrée de la vapeur, on placera donc un robinet à double réglage, c'est-à-dire que le constructeur procède à un premier réglage qui ne laisse plus à l'occupant que d'étroites limites entre lesquelles il peut faire varier l'admission sans troubler toute la distribution.

324. Montage à tuyau. — On peut, par économie, se contenter d'un seul tuyau que la vapeur parcourt en montant, et où l'eau condensée retombe en descendant jusqu'au collecteur de retour; mais cette méthode dite à un tuyau présente un fonctionnement moins assuré que le système à deux tuyaux.

325. Montage « français ». — Sous cette appellation, M. Debesson décrit un autre mode de montage qui présente de grands avantages de régularité et de sécurité.

De la chaudière A dont le niveau normal est mm' , part le tube manométrique t qui débouche dans un récipient ouvert V où l'eau

est refoulée en cas d'excès de pression et dont le niveau nn' , doit par conséquent être, au-dessus du niveau mm' , à une hauteur h telle que la pression ne puisse pas dépasser les 250 ou 300 g. que l'on s'est fixés. Cette hauteur sera donc de 2,5 m. à 3 m.

Le vase V communique d'ailleurs par un second tuyau T avec la région basse de la chaudière où l'eau peut rentrer. Ce vase reçoit également l'eau de condensation amenée par le collecteur de retour.

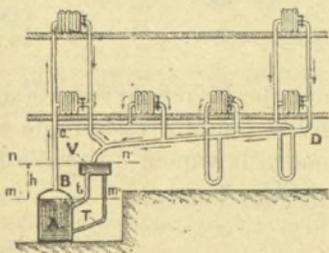


Fig. 148. — Chauffage par la vapeur à basse pression.

Le collecteur de vapeur BCD est en pente légère de C en D, de manière que l'eau de condensation qui s'y dépose toujours à mesure qu'on s'éloigne de la source, puisse s'écouler et regagner le collecteur de retour. Toutefois, pour que la vapeur elle-même n'arrive pas directement dans ce dernier, la communication qui permet l'évacuation de l'eau condensée ne se fait que par l'intermédiaire de siphons où l'eau forme une obturation hydraulique.

326. *b*) Chauffage par vapeur vive ou à haute pression. — Dans les usines où l'on utilise déjà, pour des moteurs, de la vapeur à haute pression, il paraît très simple de s'en servir directement pour le chauffage; mais si, dans ce cas particulier, on y peut trouver des avantages, il n'en est plus de même lorsque l'on est obligé d'établir un générateur spécialement pour le chauffage.

Les installations à haute pression entraînent en effet des frais considérables de réparation et d'entretien, aux joints, presse-étoupes, robinets. Elles exigent de nombreux organes accessoires, purgeurs, souffleurs, joints compensateurs de dilatation, etc.

En outre il est difficile d'éviter les fuites, les crépitements désagréables dans l'intérieur de locaux habités.

Les générateurs à haute pression, enfin, doivent être munis d'appareils de sécurité et sont soumis au contrôle du service des mines.

On sera néanmoins conduit à employer ce mode de distribution quand les parcours sont grands entre les lieux d'utilisation.

On indique parfois les limites suivantes :

Pression	4 kg.,	parcours	800 m.
—	4 à 9 —	—	1 000 m.
—	12 —	—	au delà de 1 000 m.

Dans ce cas (et pour éviter les inconvénients signalés pour les locaux habités), on n'utilisera la haute pression que sur les longs parcours extérieurs, et on détendra la vapeur à l'entrée des bâtiments, où l'utilisation se fera à basse pression.

CHAPITRE XIII

DES CHEMINÉES D'USINES

- § 1. CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT. — Dimensions nécessaires. — Tirage, volume des gaz évacués, diamètre minimum. — Mode de construction. — Profil extérieur et intérieur.
§ 2. CHEMINÉES EN BÉTON ARMÉ. — Réservoir d'eau utilisant la chaleur perdue.
§ 3. FONDATIONS DES GRANDES CHEMINÉES D'USINE.
§ 4. REDRESSEMENT D'UNE CHEMINÉE.

§ 1. — CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT

327. — La haute cheminée, qui recueille et évacue l'ensemble des fumées et des gaz de la combustion provenant des différents foyers que l'on rencontre dans la plupart des usines, constitue un des organes les plus essentiels d'un établissement industriel.

Il est nécessaire d'apporter le plus grand soin à son installation et à sa construction.

328. Dimensions nécessaires. — Au point de vue de son utilisation, une cheminée d'usine doit présenter des dimensions suffisantes :

en hauteur, pour un bon tirage;
dans sa section, pour assurer un débit convenable.

329. a) Hauteur. — La hauteur minimum est de 15 m. En dehors même des considérations de tirage, on la porte à 25 m., 35 m. et au delà, dans les villes, pour que les suies et fumées se dispersent avant de retomber sur les maisons du voisinage.

Quand il s'agit enfin d'évacuer de grandes quantités de fumées et gaz de la combustion, il est bon de faire intervenir le calcul et nous allons en indiquer le principe.

Si l'on désigne par t et θ , respectivement, la température de l'air extérieur et la température moyenne de la colonne de fumée, par d et δ la densité de l'air extérieur et la densité moyenne des gaz évacués, deux colonnes ayant une section égale à l'unité, prises à l'extérieur et à l'intérieur, sur la hauteur totale H , ont des poids représentés par $p = Hd$ et $p' = H\delta$. La différence de poids détermine le mouvement de circulation. Or en remplaçant les densités d et δ par leur valeur en fonction de d_0 , la densité de l'air à zéro, on a

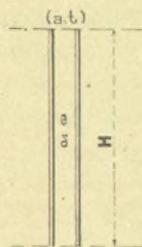


Fig. 149.

$$p - p' = Hd_0 \left(\frac{1}{1 + \alpha t} - \frac{1}{1 + \alpha \theta} \right)$$

et en négligeant les termes très petits

$$p - p' = Hd_0 \alpha (\theta - t).$$

Cette force motrice est proportionnelle : à la différence de température d'une part, et de l'autre à la hauteur.

On a donc tout intérêt à augmenter la hauteur, la différence de température dépendant à la fois des exigences industrielles qui fixent θ dans d'étroites limites, et des variations atmosphériques dont on n'est point le maître.

330. b) Dimensions transversales. — Le débit dépend à la fois de la vitesse due au tirage et des dimensions de la section.

Pour un fluide de densité d_0 on sait d'ailleurs que la vitesse est :

$$v = \sqrt{\frac{2g}{d_0}(p - p')} \quad \text{ou} \quad v = \sqrt{2g H \alpha (\theta - t)}.$$

Si S est la surface de la section, on aura pour le débit Q :

$$Q = Sv$$

et Q doit être égal au volume des gaz à évacuer à la température qu'ils ont dans la colonne. Cette température va en diminuant à mesure qu'on s'élève, par suite des déperditions.

Donc, la section étant circulaire, le diamètre va en décroissant de la base au sommet, pour correspondre à la contraction des gaz.

On se fixe, pour le diamètre au sommet, un minimum en dessous duquel on ne saurait descendre. Ce minimum est de 0,55 m.; c'est

la dimension pratique pour qu'un ouvrier puisse travailler de l'intérieur à la construction et aux réparations.

331. — Nous avons montré comment une grande hauteur favorise le tirage; il ne faut pas cependant exagérer cette hauteur de la cheminée, car les gaz se refroidissent pendant le trajet; en outre, les frottements contre les parois croissent avec la hauteur et paralyseraient bientôt l'augmentation théorique de la vitesse.

La température de la colonne gazeuse qui donne le maximum de débit est comprise entre 250° et 300°.

Enfin, il convient de ne pas donner à la cheminée une section trop grande, ce qui déterminerait un entraînement considérable d'air froid et serait encore, par conséquent, une cause de refroidissement des gaz de la combustion.

332. Volume des gaz évacués. — Théoriquement, le débit, qui est le produit de la section par la vitesse d'écoulement, devrait être exactement égal au volume des gaz de la combustion. Or, si l'on connaît le poids de charbon brûlé par seconde sur les différents foyers que dessert la cheminée, il est facile de connaître le volume approximatif des gaz produits. Ce volume est, en effet, de 8,35 m³ par kilogramme de houille; mais en pratique on peut le porter à 16 m³.

333. — On peut également se servir de règles empiriques qui permettent de calculer le diamètre, connaissant les éléments des foyers ou des générateurs que la cheminée est appelée à desservir.

1° *Connaissant le poids C de charbon brûlé par heure.* — La section de la cheminée est donnée par la formule :

$$\omega = \frac{C}{350} \quad (C \text{ en kg.}, \omega \text{ en mm}^2).$$

2° *Le diamètre à l'orifice aura autant de centimètres que l'on brûle de fois 3 kg. de charbon par heure.*

3° *En fonction de la puissance en chevaux des appareils alimentés,* certains constructeurs admettent les diamètres suivants :

Puissance en chevaux . . .	10	20	30	50	70	100	150	200	300
Diamètre à l'orifice	0,42 m.	0,54 m.	0,66 m.	0,85 m.	0,96 m.	1,15 m.	1,40 m.	1,60 m.	2 m.

(Le diamètre 0,42 m. est un peu faible pour les raisons de construction que nous avons indiquées.)

334. *Stabilité.* — La forme générale est celle d'un tronc de cône, assis sur un socle plus puissant à section circulaire, polygonale, ou carrée; ce socle lui-même est solidement implanté de 2 m. environ dans le sol.

Au point de vue de la stabilité, cet ensemble est soumis :

1° A une charge verticale correspondant au poids mort des matériaux;

2° A la poussée du vent qui tend à le faire fléchir, à la manière d'une pièce longue encadrée par son pied.

a) *Charge verticale due au poids mort.* — Le poids allant en croissant du sommet à la base, il suffit d'augmenter progressivement l'épaisseur de paroi pour être assuré de n'avoir pas d'écrasement. Nous verrons quelles sont les épaisseurs convenables.

Il y a lieu cependant de craindre des tassements inégaux du sol sous la fondation, d'où pourrait résulter une position penchée et nous verrons comment on peut redresser une cheminée ainsi sortie de son aplomb.

335. b) *Effets de la poussée du vent.* — En ce qui concerne la poussée du vent, si l'on admet qu'un vent de tempête peut donner une pression de 150 kg. par m² sur un plan normal à sa direction ⁽¹⁾, on sait que la poussée que le même vent exerce sur un demi-cylindre s'exprime en prenant les 2/3 de la poussée qui s'exercerait sur sa projection plane. Soit 2/3 de 150 kg. ou 100 kg. par m² de projection verticale.

Si d et d' sont les diamètres extérieurs aux deux extrémités de la cheminée, H sa hauteur, la surface projetée sera :

$$\frac{d+d'}{2}H,$$

et la poussée horizontale :

$$Q = \frac{d+d'}{2}H \times 100 \text{ kg.}$$

(1) Pour les cheminées en ciment armé, on admet un vent de 270 kg. par m² de surface plane frappée orthogonalement, ce qui donne 180 kg. avec la réduction aux deux tiers.

Cette poussée s'exerce au centre de gravité du trapèze de projection.

En la composant avec le poids P de la cheminée, qu'il est facile de déterminer et qui s'exerce sur l'axe, on a une résultante qui, pour qu'il n'y ait pas rotation autour de la base, et pour qu'il ne s'exerce pas d'effort d'extension dans la maçonnerie, doit percer le plan de base dans ce qu'on appelle le *noyau central*.

Le noyau central d'un anneau a pour rayon

$$\rho = \frac{R(1+m^2)}{4}$$

où R est le rayon extérieur, m étant le rapport des deux rayons intérieur et extérieur.

Sur ces données, il est facile de vérifier, par une épure, si la condition est satisfaite.

336. Isolement d'une cheminée comprise dans un pâté de constructions. — Les différents efforts dynamiques que la cheminée doit subir, sous l'action du vent, provoquent des oscillations auxquelles participe le massif de base, quelque solide qu'on le suppose. On doit s'en préoccuper si la cheminée est attenante à d'autres constructions et, par exemple, comprise dans l'ensemble d'un bâtiment.

Les oscillations ont pour effet de provoquer des dislocations aux endroits où le fût et le socle lui-même se soudent à la masse des maçonneries voisines.

Pour éviter cet inconvénient — et c'est là une remarque importante — il est nécessaire de laisser une indépendance complète à la cheminée qui traversera la toiture avec un libre jeu par un orifice suffisamment large, le joint étant simplement recouvert par une collerette en zinc fixée à la cheminée et qui suit celle-ci dans ses déplacements.

337. Nature des matériaux. — Les cheminées d'usine sont le plus souvent en maçonnerie de briques. On n'emploie les cheminées en tôle que pour gagner de la place, mais les parois métalliques occasionnent une grande perte de chaleur; or, on sait que le tirage est proportionnel à la différence de température entre la colonne des gaz chauds et l'air extérieur; il est donc très important que la première ne se refroidisse pas trop rapidement.

338. Profil extérieur et organisation de la cheminée. — Une cheminée d'usine, au-dessus du massif de fondation enterré, comprend trois parties : le socle ou soubassement, le fût et le chapiteau.

Le *socle* est souvent construit sur plan carré; il présente lui-même une plinthe ou soubassement saillant à sa base, et une tablette ou corniche de couronnement. On ménage le plus souvent dans le socle une porte de visite pour le nettoyage.

Le socle se prolonge d'environ 2 m. dans le sol pour y former une chambre où débouchent les carreaux amenant les fumées.

La section du *fût*, quelquefois polygonale, est le plus souvent circulaire, ce qui se prête mieux à une facile construction en briques. La forme générale est celle d'un tronc de cône avec un fruit extérieur de 2,5 p. 100, le diamètre extérieur se réduisant ainsi de 0,05 m. par mètre d'élévation.

Le chapiteau a généralement la forme d'une tulipe, supportée par des consoles très allongées verticalement. C'est un ornement d'une utilité contestable, qui a l'inconvénient de surcharger outre mesure le sommet de cette colonne.

Dans les oscillations causées par la poussée du vent, cette masse intervient par son inertie pour aggraver le mouvement pendulaire et la tendance à la rupture.

Il serait donc infiniment plus rationnel de terminer le fût tout naturellement et sans renflement d'aucune sorte, si l'on ne cédait pas à l'usage et au désir de décorer un ouvrage où, en réalité, cette préoccupation est secondaire.

339. Profil intérieur. — Puisque la charge va en croissant du sommet à la base, il doit évidemment en être de même pour l'épaisseur de la paroi. Toutefois, l'emploi de la brique se prêterait mal à un accroissement continu et régulier. On décompose alors le fût en un certain nombre de tronçons pour chacun desquels l'épaisseur est constante.

La hauteur des tronçons est de 4 à 6 m. Le tronçon supérieur reçoit au minimum une épaisseur de 0,11 m. (une demi-brique) s'il n'est pas surchargé par un chapiteau volumineux et lourd; l'épaisseur de paroi augmente successivement d'une demi-brique pour chaque nouveau tronçon en descendant. Les épaisseurs successives sont ainsi de : 0,11 m., 0,22 m., 0,34 m., etc. (fig. 150).

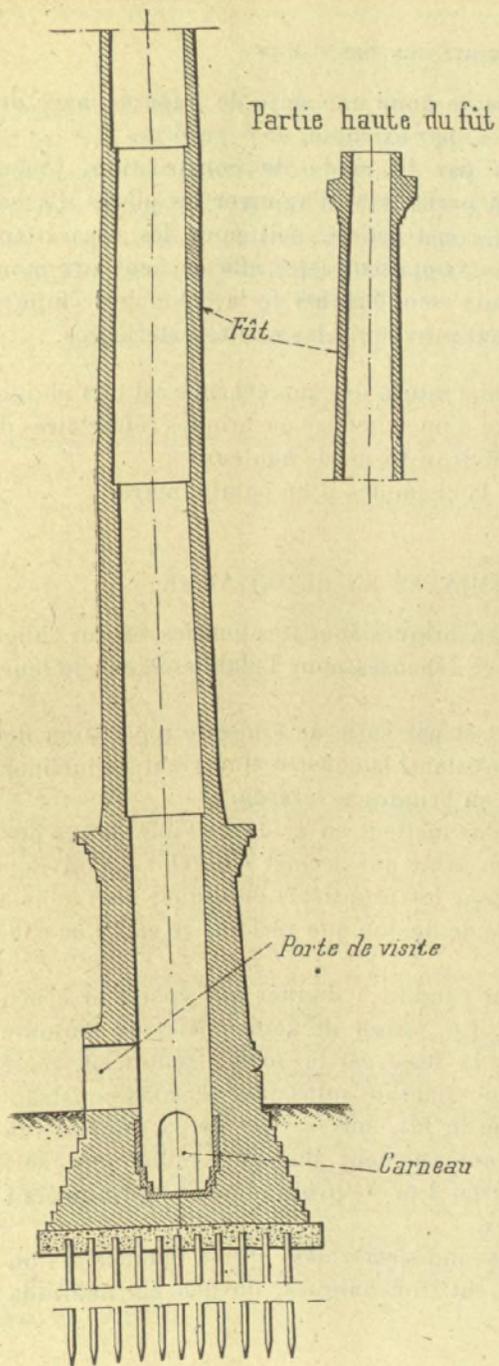


Fig. 150. — Coupe verticale d'une cheminée d'usine.

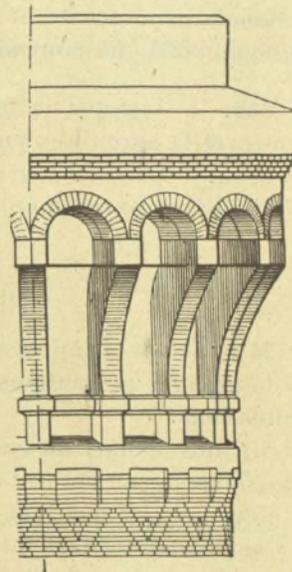


Fig. 151.
Chapiteau d'une cheminée monumentale.

Le profil intérieur présente donc une série de trapèzes, avec des retraites de 0,11 m. étagées, par exemple, de 6 en 6 m.

Ces retraites, justifiées par le mode de construction, jouent d'ailleurs un rôle utile, en permettant d'appuyer les pièces d'échafaudage, soit pendant la construction, soit pour les réparations ultérieures. En outre, elles s'opposent assez efficacement aux mouvements de descente et aux refoulements de la colonne de fumée, mouvements que pourraient provoquer les rafales extérieures.

340. — Lorsque la température des gaz évacués est très élevée, on revêt la paroi intérieure d'une chemise en briques réfractaires de 0,11 m. d'épaisseur sur environ 15 m. de hauteur.

Il faut, en outre, munir la cheminée d'un paratonnerre.

§ 2. — CHEMINÉES EN BÉTON ARMÉ

341. — Les cheminées en briques sont très lourdes, ce qui oblige à de grandes précautions et dépenses pour l'établissement de leurs fondations.

Si, sous l'effort du vent et par suite de l'inégale répartition des pressions sur un sol peu résistant, la construction vient à s'incliner, il n'est pas rare que le fût en briques se lézarde.

Ces diverses considérations mettent en évidence l'intérêt que présente l'application du béton armé qui permet d'obtenir un ouvrage beaucoup plus léger, et dont les propriétés élastiques sont tout à fait adaptées à la résistance de flexion que réclame ce genre de construction.

Le mode de construction conduit à donner une épaisseur à peu près uniforme à la paroi. En raison de cette épaisseur toujours assez faible, le diamètre à la base est lui-même réduit, et, pour donner à tout l'ensemble une stabilité suffisante, certains constructeurs, au début, ont flanqué le fût, sur le tiers de sa hauteur, de contreforts augmentant l'empattement jusqu'au radier qui sert d'assiette dans le sol, à environ 2 m. de profondeur. L'ouvrage était particulièrement disgracieux.

Les contreforts ne sont pas indispensables: on y a renoncé et l'on a construit des fûts légèrement tronconiques, un peu par habitude de cette forme.

Toutefois l'organisation des coffrages présente alors quelques difficultés. Si l'on établit un moule complet, le matériel employé est considérable et l'installation fort coûteuse. On a combiné alors des segments de moules démontables que l'on remonte au fur et à mesure de l'avancement; mais le changement de diamètre résultant du fruit de la paroi entraîne à des complications qui ont conduit souvent à faire des fûts cylindriques.

On oppose à cette forme un peu fruste son manque d'esthétique.

342. — Pour tourner la difficulté, un ingénieur belge, M. Léon Monnoyer a imaginé le procédé suivant, que la Société Pelnard-Considère et Caquot applique en France.

Le socle et la partie enterrée sont le plus souvent moulés dans un

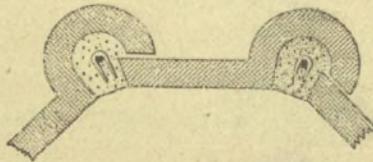


Fig. 152. — Plan d'une assise d'une cheminée par claveaux.

coffrage ordinaire. Le fût au contraire est formé d'assises de 0,26 m. de hauteur, composées elles-mêmes de plusieurs claveaux (6 généralement) dont les faces de parement sont planes, en sorte que l'ensemble prendra l'aspect d'un tronc de pyramide hexagonale.

On voit sur les arêtes des boudins saillants qui constituent la partie caractéristique du système constructif.

Si l'on examine une assise en plan, on remarque que le boudin correspond à une oreille recourbée à l'une des extrémités de chaque claveau, l'autre étant coupée droite.

En arrière du crochet-boudin, on engage le bord droit du claveau voisin, en laissant un espace vide où l'on place des tiges d'acier rond et que l'on remplit de béton de ciment. En serrant plus ou moins les claveaux les uns contre les autres, on fait varier le côté du polygone, de manière à donner la forme pyramidale.

Sur l'assise on place également une ceinture de fil d'acier dans le ciment du joint.

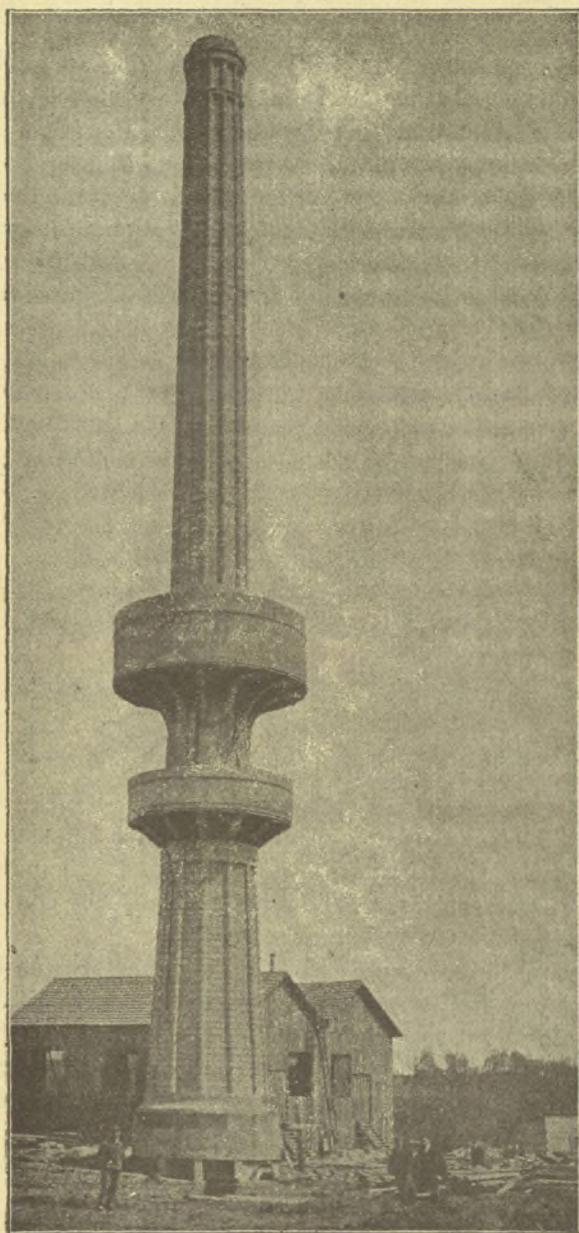


Fig. 153. — Cheminée à deux réservoirs par claveaux.

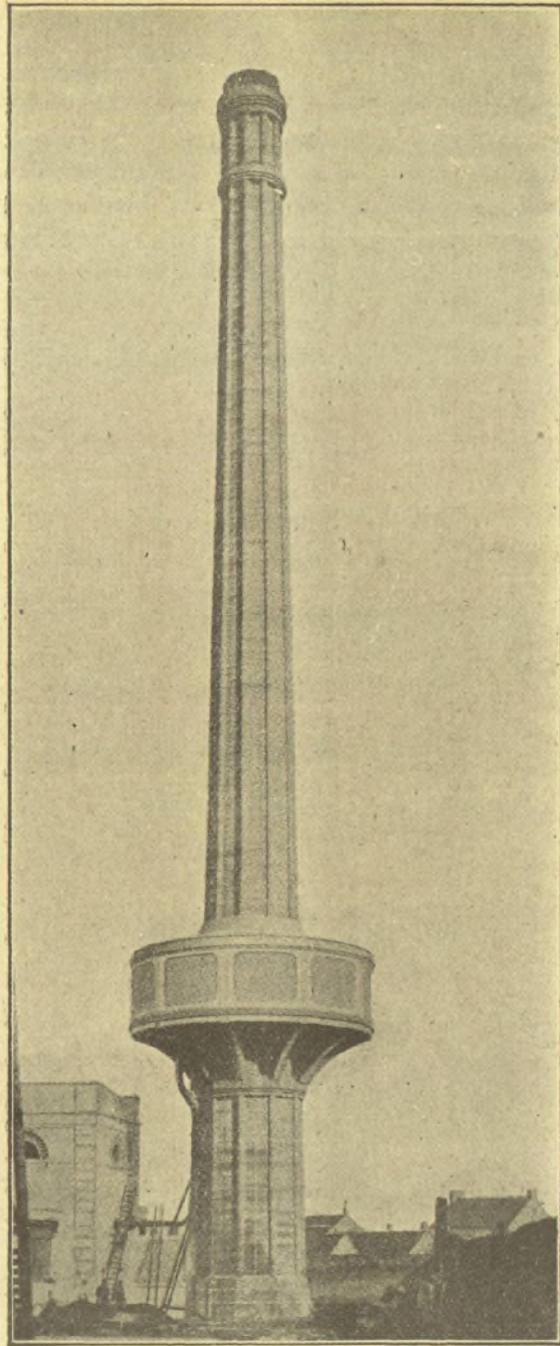


Fig. 154. — Cheminée à réservoir par claveaux.

CONSTRUCTION DES USINES.

343. Réservoirs d'eau utilisant la chaleur des gaz évacués. — Sur la figure donnant l'ensemble d'une cheminée de ce système, on a représenté des réservoirs concentriques au fût et qui permettent d'utiliser la chaleur des gaz évacués pour échauffer de l'eau. C'est une pratique économique qui tend à se généraliser et le béton armé se prête bien à la réalisation de ce dispositif.

§ 3. — FONDATIONS DES GRANDES CHEMINÉES

344. — Il y a lieu tout d'abord de se rendre compte du poids qu'on doit répartir sur le sol, et de la charge que ce sol est susceptible de porter.

Ces deux éléments étant supposés déterminés, s'il faut aller chercher le sol convenable à une profondeur ne dépassant pas 2 m. environ, un simple radier général en béton ordinaire est indiqué, d'autant plus que cette profondeur est nécessaire pour l'organisation des carnaux d'accès des fumées à la cheminée.

345. — Au delà de cette hauteur et jusqu'aux environs de 4 m., on pourra, après avoir déblayé l'emplacement des basses fondations, remplacer le mauvais sol enlevé par du sable de bonne qualité, que l'on pilonnera et arasera par couches.

Ce massif sera contenu au besoin par une enceinte, en briques ou en pal planches.

Il conviendra de donner à ce massif de sable, sur le parement des premières maçonneries, une saillie ou empattement égal à la hauteur du sable.

346. — Au delà de 4 m. de profondeur, il sera préférable de recourir au système de fondations sur pilotis, les têtes de pieux se trouvant noyées dans un épais massif de béton.

On peut également recourir, dans ces circonstances, à un radier général en béton armé, évidemment applicable chaque fois que, renonçant à atteindre le bon sol, on se résoud à fonder sur le terrain compressible. Le radier s'enfonce dans le sol — nous l'avons dit plus haut — à une profondeur d'environ 2 m. pour constituer un bon encastrement et ménager l'emplacement de la chambre où débouchent les carnaux.

§ 4. — REDRESSEMENT D'UNE CHEMINÉE

347. — Il arrive parfois comme nous l'avons vu, et à la suite de tassements inégaux du sol, que la cheminée s'incline. Il est difficile de donner des règles générales pour le redressement, mais on trouvera d'utiles indications dans les deux exemples qui vont suivre.

348. a) Procédé par affouillements systématiques. — On cite une cheminée de 103 m. de haut, qui était déversée de 1,40 m. à son sommet hors d'aplomb. Sur la demi-circonférence de base opposée au mouvement, on a foré dans le sol un grand nombre de trous de 5 cm. de diamètre que l'on a remplis d'eau, pour amener le ramollissement de la terre avoisinante. Cette diminution de résistance suffit à produire un tassement inverse du premier et le redressement de la cheminée.

349. b) Procédé par résection. — Une cheminée de 103,30 m. de l'usine Marrel frères, à Rive-de-Gier, avait subi un déplacement atteignant 1 m. au sommet. Elle s'était, en outre, fendue sur 14 m. le long d'une génératrice.

On n'a pas hésité à scier la cheminée en sept tronçons aux points où la courbe de déversement présentait les jarrets les plus prononcés.

On pratiquait d'abord, au moyen d'une scie passe-partout, un jour dans un joint, entre les briques; puis on continuait le travail de part et d'autre avec des scies égoïnes, en ayant soin, bien entendu, de caler de distance en distance. Pour cela, on enlevait une ou deux assises de briques qu'on remplaçait par des plaques de tôle forte entre lesquelles on chassait des coins en fer de 3 cm. d'épaisseur environ.

On comprend qu'en retirant ensuite les coins peu à peu, il était possible de redresser convenablement le tronçon supérieur. Il suffisait alors de couler du ciment à prise rapide dans le joint et d'attendre qu'il eut une résistance suffisante pour achever de retirer les coins et les cales.

On refit également la maçonnerie avoisinant la lézarde verticale.

§ 5. — CHEMINÉE A TIRAGE ARTIFICIEL

350. — Jusqu'ici, nous ne nous sommes occupé que des cheminées ordinaires où le tirage naturel résulte uniquement de la différence de densité des gaz intérieurs et de l'air extérieur.

Pour qu'il y ait tirage, il faut que la colonne évacuée soit à une température assez élevée, ce qui constitue une perte de calorique très notable (on l'a évaluée à 15 p. 100 des calories produites sur le foyer).

En outre, la forme même de la cheminée en tronc de cône, utile pour maintenir la vitesse, et surtout pour la stabilité, occasionne une perte de tirage par frottement. Enfin les variations de la température extérieure influent beaucoup sur le tirage.

On a songé à supprimer ces inconvénients en déterminant par un artifice quelconque l'entraînement des gaz à la base de la cheminée. Dès lors, celle-ci n'est plus qu'une tuyère d'évacuation dont la hauteur n'a plus d'influence sur le tirage.

On peut la constituer par un tube de tôle, de faible hauteur, de section croissante vers le haut afin de laisser les gaz se détendre et de réduire la résistance au minimum.

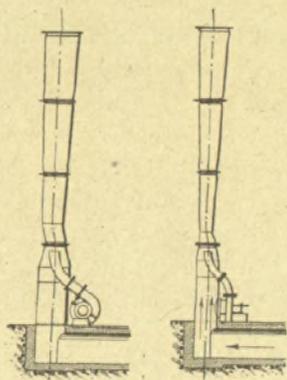


Fig. 155.

Fig. 156.

Deux dispositifs de tirage artificiel.

351. — L'entraînement des gaz peut être provoqué par une injection de vapeur.

Toutefois, il est sans doute plus économique de remplacer la vapeur par de l'air comprimé provenant d'un ventilateur.

Les deux figures 155 et 156 indiquent deux dispositions réalisées, sous le nom de transformateur de pression, par la maison L. Prat.

Dans la première (*disposition hors circuit*) le ventilateur envoie à l'éjecteur de l'air puisé au dehors.

Dans la seconde (*disposition en circuit*) le ventilateur s'alimente

sur la colonne des gaz de la combustion eux-mêmes, ce qui n'ajoute rien par conséquent à la masse gazeuse qu'il s'agit d'évacuer.

L'embase de la cheminée est assez largement établie pour que la cheminée proprement dite n'ait pas besoin d'être haubannée.

352. — On remarquera que le système est susceptible d'être appliqué dans une cheminée existante en briques.

C'est ce qu'indique la figure 157 qui montre l'application faite à la station centrale de la Société d'Électricité de Paris, à Saint-Denis.

Chacune des cheminées de 55 m. de hauteur renferme un transformateur de pression aspirant les gaz de 6 générateurs de 420 m² de surface de chauffe chacun. Avant l'installation du tirage artificiel, la cheminée dont le

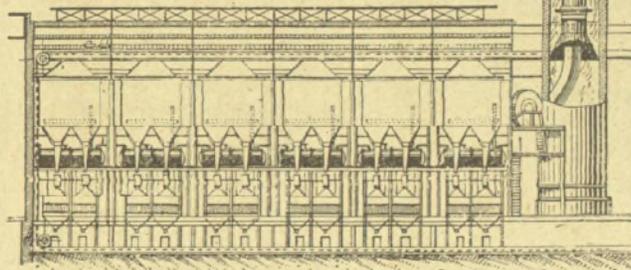


Fig. 157. — Société d'électricité de Paris. Usine de Saint-Denis (Seine).
(53 000 HP.)

tirage naturel variait de 15 à 22 mm. suivant les saisons, permettait de vaporiser 7500 à 8000 kg. d'eau à chacune des chaudières. Avec l'installation nouvelle, la vaporisation a pu atteindre 14000 kg. avec un tirage de 36 mm. d'eau à la base de la cheminée.

CHAPITRE XV

ORGANISATION D'UNE USINE THERMIQUE

§ 1. DE LA CHAUFFERIE. — Éléments du calcul des chaudières. — Surface de grille et de chauffe. — Évacuation des fumées, des cendres. — Alimentation en combustible. — Chargement des trémies, convoyeurs.

§ 2. CHAMBRE DES MOTEURS.

§ 3. NOTE SUR LA RÉGLEMENTATION ADMINISTRATIVE DES APPAREILS A VAPEUR.

353. Éléments d'une usine thermique. — Une usine utilisant la chaleur comme source d'énergie comprend :

- Une salle des générateurs de vapeur, ou chaufferie;
- Une salle des moteurs;
- Une salle pour les machines de transformation de l'énergie
ou pour les machines opératrices;
- Des installations pour l'alimentation en combustible;
- Des installations pour l'évacuation des déchets, cendres, etc.

§ 1. — DE LA CHAUFFERIE

354. Salle des générateurs. — Il est nécessaire de grouper les générateurs, dont le fonctionnement et la surveillance sont ainsi assurés avec le moins possible de main-d'œuvre et de dépense.

Les générateurs sont alignés sur une ou deux files, avec une allée de service suffisamment large : 5 à 6 m. quand il s'agit d'une allée centrale desservant deux rangées de générateurs face à face.

La largeur totale du bâtiment est d'environ 11 m. pour une seule rangée de générateurs et cette largeur peut atteindre 24 à 30 m.

pour deux rangées. Ces dimensions ne sont d'ailleurs qu'approximatives, l'encombrement d'un générateur variant évidemment suivant sa puissance et suivant le type auquel il appartient.

355. Éléments du calcul des appareils de chauffe. — On indique le plus souvent la puissance à fournir sur l'arbre des moteurs.

Les quantités de vapeur et de combustible nécessaires varient dans de larges limites suivant le type de moteur adopté. On peut cependant se baser sur les chiffres suivants :

FORCE DU MOTEUR	QUANTITÉS EN KG. PAR CHEVAL-HEURE	
	de vapeur V.	de combustible P _c .
De 15 à 40 chevaux	44 kg. à 42 kg.	2 kg. à 1,6 kg.
De 40 à 100 chevaux	42 — à 40 —	1,5 — à 1,3 —
Compound ou monocylindr. Curtiss. 100 à 200 chevaux.	8 — à 7 —	1,3 — à 0,8 —
Double détente ou triple expansion. 200 à 500 chevaux.	7 — à 6 —	»

Connaissant d'ailleurs le poids de vapeur à produire, on peut déterminer directement les éléments du générateur.

Tout d'abord, la température de la vapeur dépend de sa pression, et la chaleur totale de vaporisation s'en déduit; on a en effet :

Pression en kg. par cm ² . . .	1 kg.	2 kg.	3 kg.	4 kg.	5 kg.	6 kg.	7 kg.	8 kg.	10 kg.
Températures.	400°	420°,6	433°,9	444°	452°,	459°,2	465°,3	470°,8	480°,3
Chaleur totale de vaporisat. en calories. .	637	643	47,36	650,4	652,9	653	656,9	658,6	661,5

D'une manière plus générale, la chaleur totale de vaporisation pour passer de t_0 (température de l'eau) à la température t_1 (température de la vapeur dépendant de la pression) est, par kilogramme :

$$q = 606,5 + 0,305(t_1 - t_0).$$

Si l'on désigne par V le poids de vapeur à produire, par c le

pouvoir calorifique du combustible, et par φ le rendement du générateur, on pourra poser, pour le poids P_c du charbon consommé :

$$P_c = \frac{V \times q}{\varphi \times c}.$$

En général, on peut compter sur un rendement φ de 60 à 70 p. 100; le pouvoir calorifique de la houille est $c = 8\,000$ calories en chiffres ronds.

356. Surfaces de grille et de chauffe. — Pour donner à la combustion une allure modérée, on pourra brûler 60 kg. de charbon par heure et par m² de grille.

Toutefois, en pratique, il est bon de ne compter que sur 40 à 50 kg.

On aura donc pour la surface de grille :

$$S_g = \frac{P_c}{40 \text{ à } 50}.$$

Enfin, la surface de chauffe s'évaluera d'après les chiffres suivants :

NATURE DE LA CHAUDIÈRE	POIDS DE VAPEUR produite par m ² de grille et par heure.
Chaudières à bouilleurs	10 kg.
— semi-tubulaires	12 kg.
— à tubes d'eau	13 à 15 kg.
— à foyer intérieur	15 à 20 kg.
Types locomotives	55 à 75 kg.

357. — Connaissant la surface de grille et la surface de chauffe, on pourra consulter une maison de construction ou même des albums d'usine, pour avoir les dimensions et l'encombrement du générateur.

358. — Les générateurs employés dans une usine fixe importante sont généralement enveloppés d'une chemise en briques.

On aura intérêt à y adjoindre un *économiseur*⁽¹⁾ ou un *récupéra-*

(1) L'économiseur est destiné à chauffer l'air d'alimentation du foyer au moyen des chaleurs perdues qu'entraînent les fumées et gaz de la combustion avant d'atteindre la cheminée.

teur de chaleur. Dans ce cas, tous les générateurs étant placés côte à côte, l'économiseur unique pour toute la rangée se place à la suite.

On peut aussi placer l'économiseur par derrière.

359. — Évacuation des fumées. — Lorsque plusieurs générateurs sont réunis côte à côte, l'évacuation des fumées se fait par l'arrière dans un carneau enterré, dont la dalle forme un couloir en arrière des chaudières (voir plus loin la coupe de l'usine du cap Pinède et celle de l'usine de Tuilière). Ce carneau aboutit à une grande cheminée placée autant que possible à l'extérieur.

360. Évacuation des cendres. — La sole du cendrier est inclinée de manière que les cendres tombent dans une galerie inférieure qui court tout le long du bâtiment. Les cendres peuvent être reçues dans des wagonnets circulant sur une voie Decauville ou suspendus à un rail aérien.

361. Alimentation en combustible. — *a)* Dans le cas où la chaufferie ne comporte qu'une seule rangée de générateurs, comme à l'usine du Métropolitain, quai de la Rapée, à Paris, on dispose le long de la paroi opposée, et vers l'extérieur, une file de silos à charbon, à fond tronconique. Une ventelle permet d'ouvrir une goulotte par où le combustible s'écoule sur un wagonnet qui le transporte jusqu'à la trémie de charge du générateur.

On a construit de nombreux types de chariots à déchargement mécanique, destinés à faciliter cette opération avec un personnel très réduit.

b) Dans le cas où la chaufferie comporte deux rangées de générateurs, c'est au-dessus de l'allée centrale que sont disposés les silos en trémie; les goulottes vont alors directement au-dessus des orifices de chargement. On en verra un exemple dans l'organisation de l'usine de Tuilière et de l'usine de la C^o du Gaz de Lyon.

362. Chargement des trémies. Convoyeur. — Pour faciliter l'apport du combustible et le remplissage des trémies, on installe des convoyeurs à godets, dont nous verrons le détail dans les différentes monographies d'usines. Le convoyeur sans fin passe au-dessus des silos, redescend pour effectuer son retour à vide dans une galerie sous le sol de la salle de chaufferie.

§ 2. — CHAMBRE DES MOTEURS

363. — Il n'y a pas grand'chose à dire de la salle des moteurs qui doit être placée à faible distance de la chaufferie pour diminuer la longueur des canalisations.

La salle est rectangulaire et les différents moteurs sont placés parallèlement les uns aux autres en ménageant autour d'eux les espaces nécessaires pour la circulation.

Une allée assez large dessert le local sur toute sa longueur.

Qu'il s'agisse de moteurs à piston ou de turbines, les machines seront établies et scellées sur de solides massifs de fondation susceptibles, par leur inertie, d'amortir les vibrations.

364. — Lorsque la force motrice est transmise à des dynamos, celles-ci peuvent être montées dans la même salle. Les encombrements sont alors déterminés en conséquence.

Lorsque au contraire, la force motrice sert à actionner des machines opératrices diverses, il y a lieu d'installer des arbres de transmission.

Si les machines-outils sont réparties dans un grand nombre d'ateliers divers, on peut être conduit à disperser les moteurs à vapeur; mais il en résulte une augmentation du personnel spécial, et la surveillance est plus difficile.

§ 3. — NOTE SUR LA RÉGLEMENTATION ADMINISTRATIVE
DES APPAREILS À VAPEUR

365. — Les générateurs à vapeur présentent des dangers d'explosion qui ont conduit à réglementer leur usage.

Les mesures que comporte l'emploi des appareils à terre ont fait l'objet du décret du 9 octobre 1907, qui place ces appareils sous la surveillance et le contrôle du Service des Mines.

Nous allons résumer quelques-unes de ces prescriptions :

a) Mesures de sûreté. — Aucune chaudière neuve ne peut être mise en service qu'après avoir subi l'épreuve réglementaire, chez le constructeur et sur sa demande, ou sur le lieu d'emploi dans cer-

taines circonstances déterminées (par exemple quand elle provient de l'étranger).

L'épreuve est renouvelée lorsque la chaudière a subi, dans un atelier de construction ou de réparation, des changements ou réparations notables, ou après un chômage de plus d'un an.

L'intervalle entre deux épreuves consécutives ne peut dépasser dix ans.

b) Nature des épreuves. — L'épreuve consiste à soumettre la chaudière à une pression hydraulique supérieure à la pression effective qui ne doit pas être dépassée dans le service.

Toutes les parties de la chaudière doivent pouvoir être visitées.

Pour les épreuves d'une chaudière neuve ou ayant subi des changements notables, la surcharge d'épreuve est égale, en kg. par cm^2 :

à la pression effective, avec un minimum de 1/2 si le		
timbre n'excède pas	6	
à 6 si le timbre est compris entre	6 et 20	
à 7 — —	20 et 30	
à 8 — —	30 et 40.	

c) Timbre. — Il est apposé un ou plusieurs timbres poinçonnés indiquant en kg. par cm^2 la pression effective qui ne doit pas être dépassée.

Tout *réchauffeur* d'eau sous pression, sécheur et surchauffeur de vapeur, est considéré comme chaudière et soumis aux mêmes prescriptions.

d) Appareils de sûreté. — Deux soupapes de sûreté, — un manomètre, — appareil de retenue ou clapet automatique au point d'insertion du tuyau d'alimentation.

Deux appareils indicateurs du niveau d'eau.

CHAPITRE XVI

MONOGRAPHIES D'USINES THERMO-ÉLECTRIQUES

§ 1. NOUVELLE STATION CENTRALE D'ÉLECTRICITÉ DE L'USINE À GAZ DE LYON. — Disposition d'ensemble. — Chaufferie. — Alimentation en combustible. — Évacuation des cendres. — Salle des machines. — Installation électrique.

§ 2. USINE ÉLECTRIQUE À VAPEUR DU CAP PINÈDE.

§ 3. USINE DU MÉTROPOLITAIN À PARIS.

§ 1. — NOUVELLE STATION CENTRALE D'ÉLECTRICITÉ DE LA COMPAGNIE DU GAZ DE LYON ⁽¹⁾

366. Dispositions générales. — La C^o du Gaz de Lyon a été conduite à construire, en 1911-1912, une station centrale de 16 000 kilowatts, dans le quartier de la Mouche, au voisinage de la bifurcation des lignes de Grenoble et de Marseille, qui donnent de grandes facilités d'approvisionnement.

L'énergie motrice est empruntée à la vapeur.

La salle des machines, construite en T sur l'une des extrémités de la chambre de chauffe, renferme actuellement quatre groupes de turbo-alternateurs; mais on a prévu son allongement pour contenir au total 8 groupes; la chaufferie serait alors doublée par un bâtiment contigu. Le tableau de distribution est à un des pignons de cette salle.

Entre la salle des machines et la chaufferie, se trouve la salle des pompes de condensation et d'alimentation des chaudières.

Un atelier de réparations est adossé à l'autre face de la chambre des machines.

(1) *Génie Civil*, n° 4, t. LXIV.

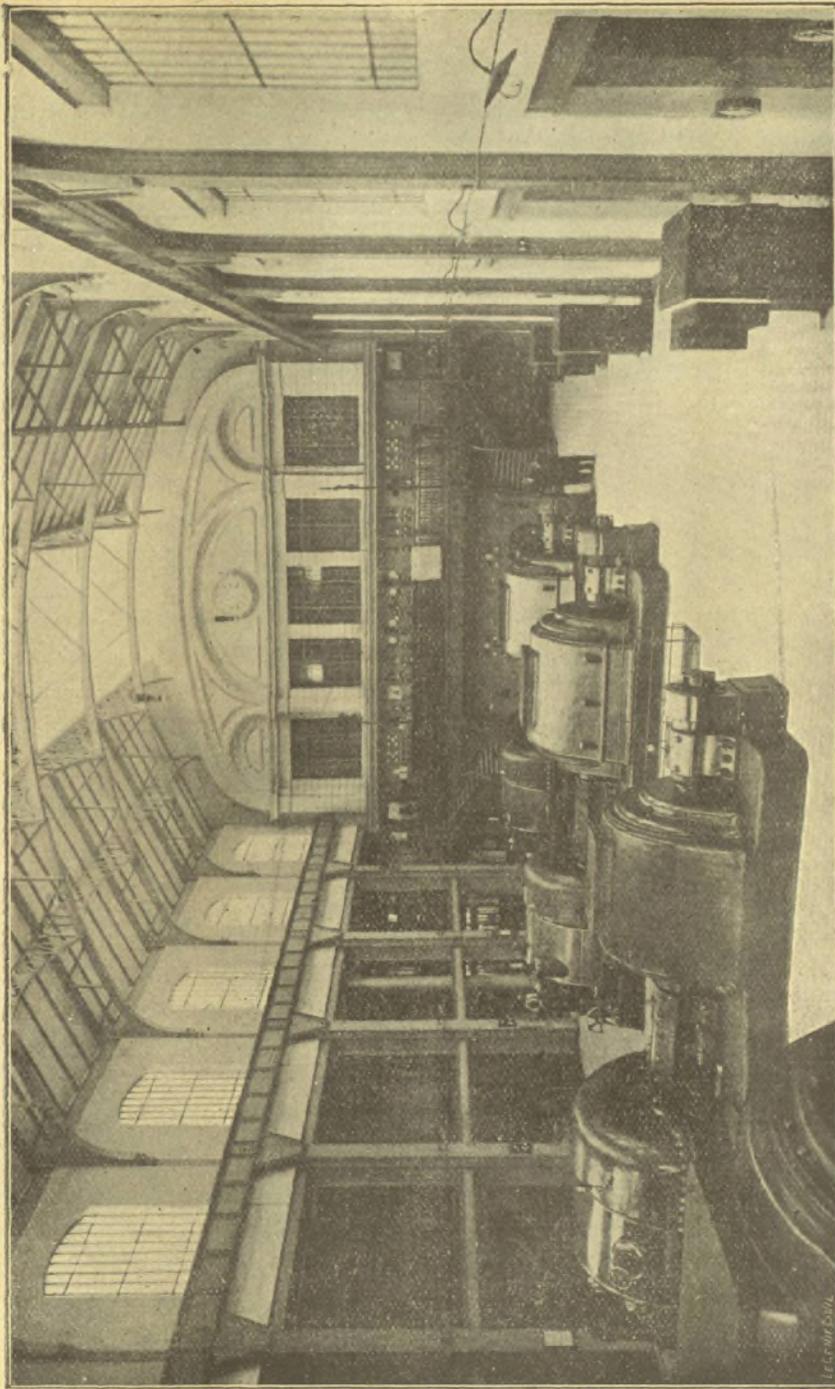


Fig. 158. — Vue de la chaufferie.

367. Chaufferie. — On voit sur la coupe (planche II), que le bâtiment de la chaufferie comprend :

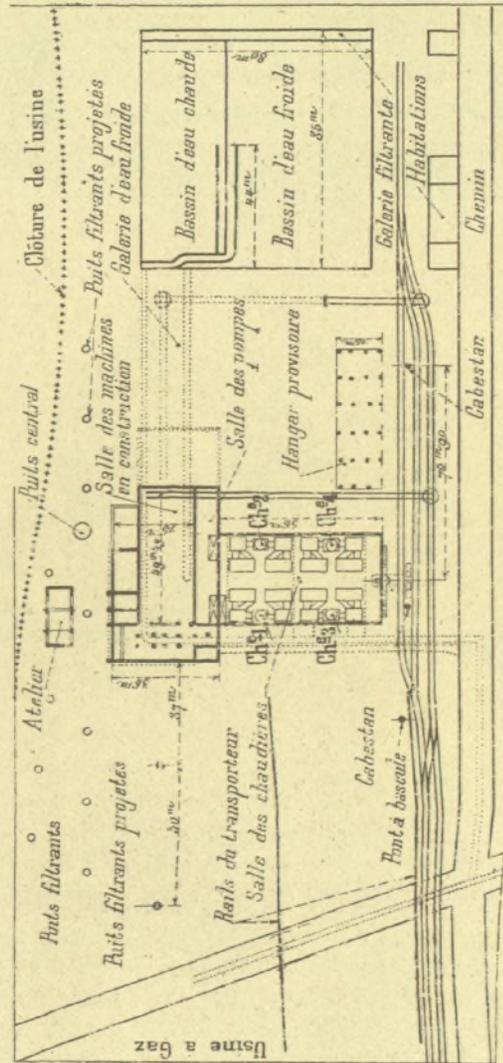
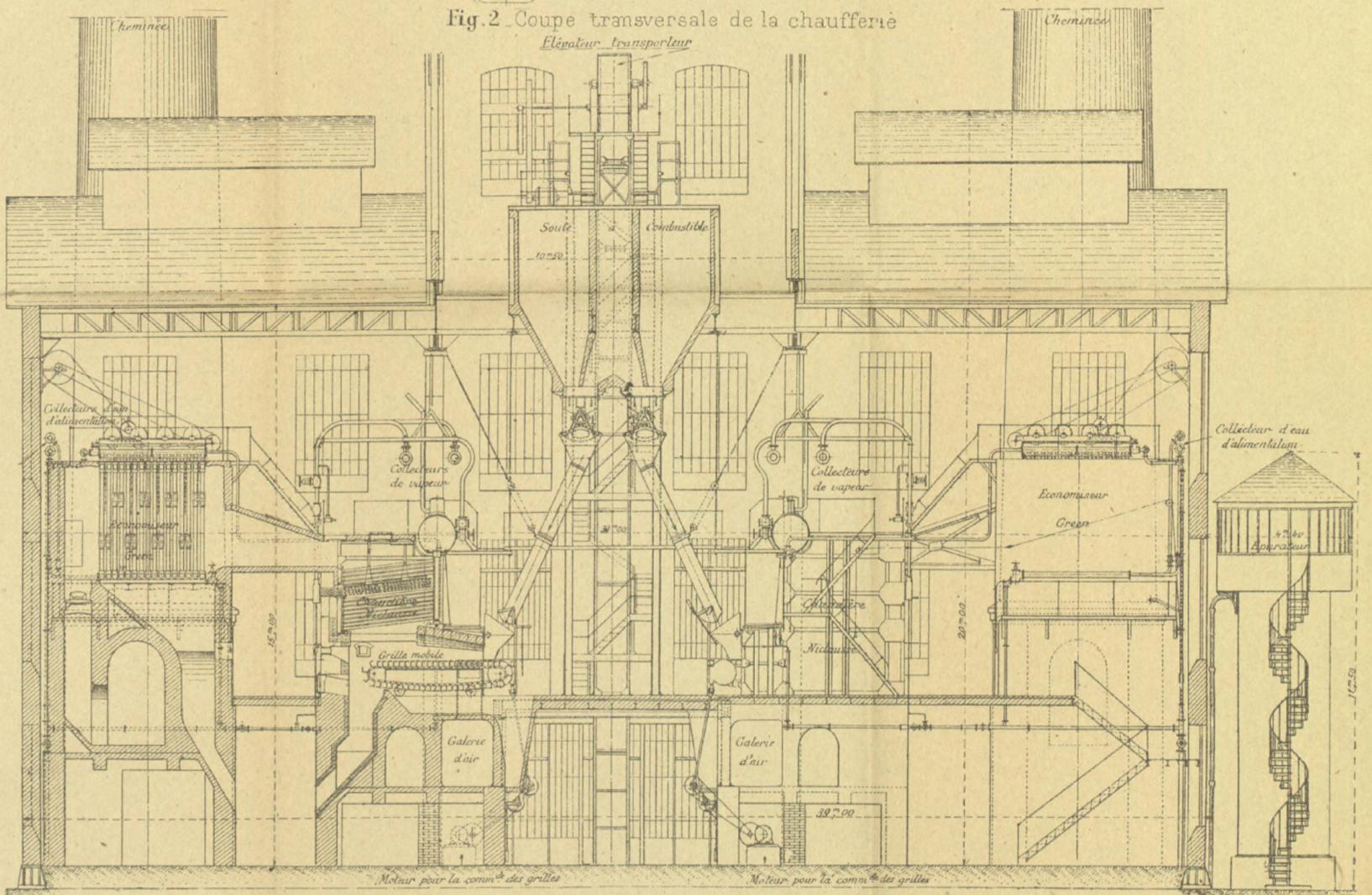
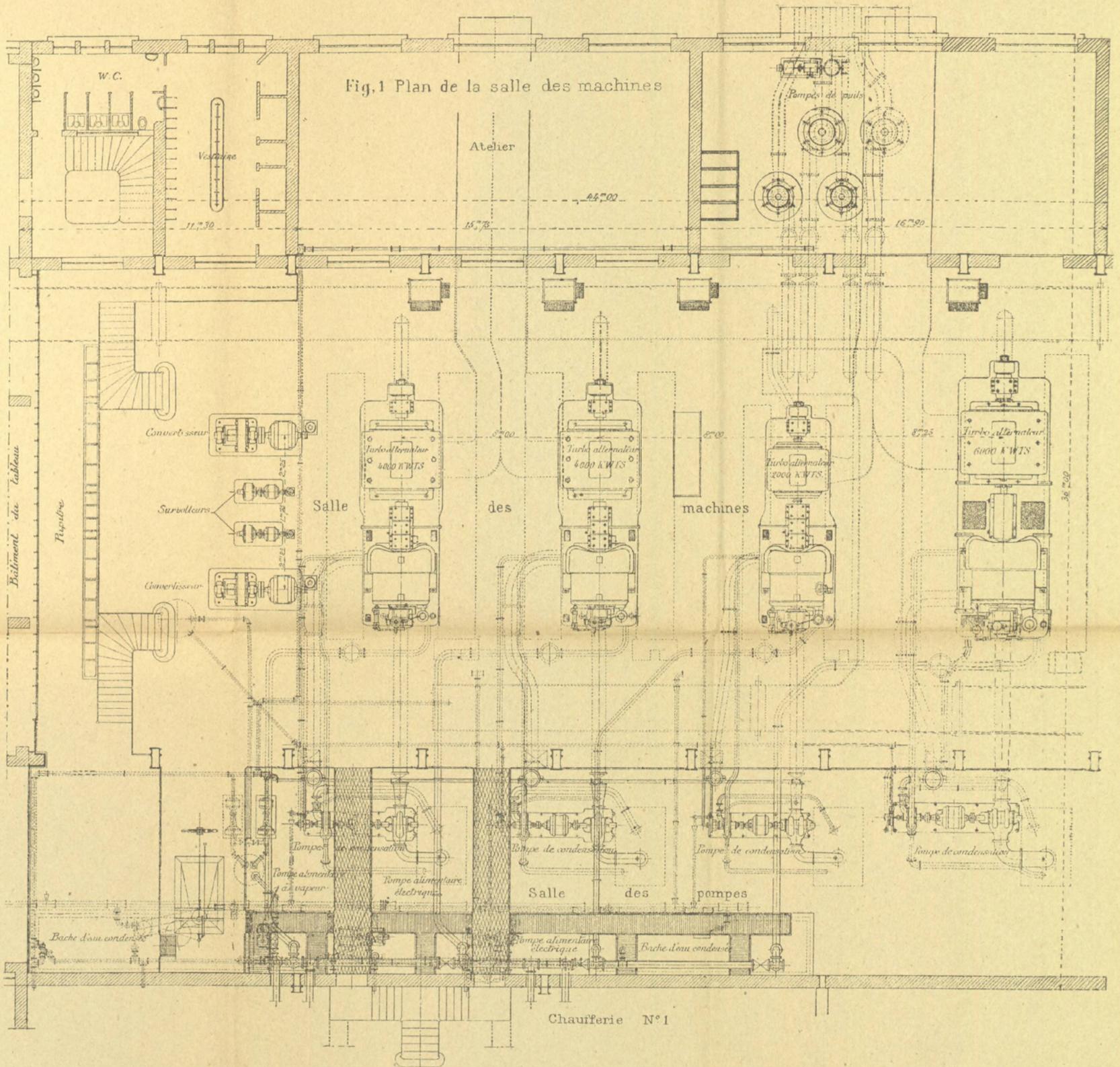
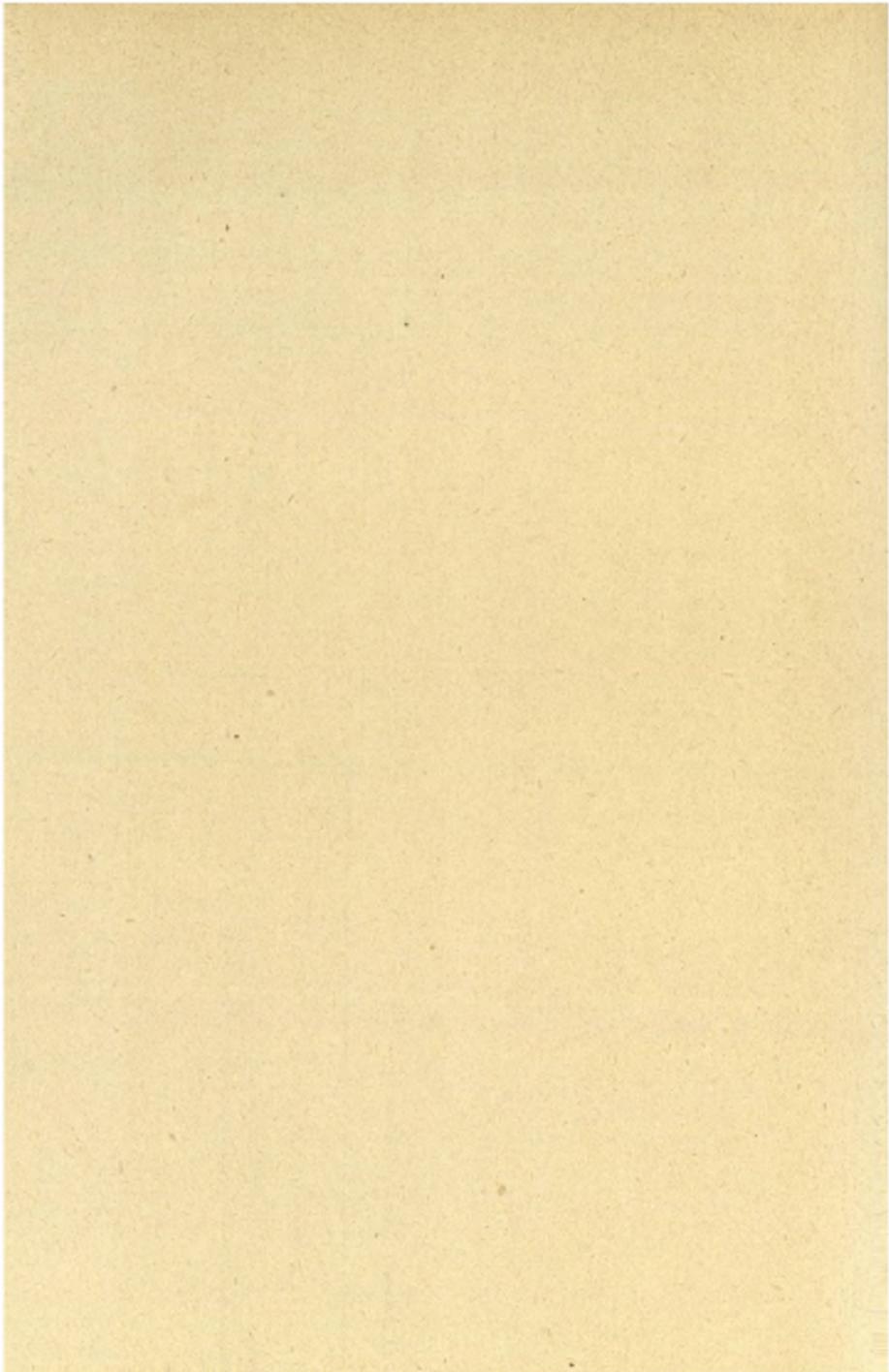


Fig. 159. — Plan d'ensemble de l'usine électrique de la Mouche, de la Compagnie du gaz de Lyon.

1° Une travée centrale très élevée sur colonnes, de 10,50 m. de large, qui correspond à l'allée de service des chaudières;





2° *Deux travées latérales*, couvertes par des docks perpendiculaires à l'axe du bâtiment et destinées aux chaudières. Ces travées ont 15 m. de hauteur et environ 10 m. de profondeur.*

On y a installé quatre groupes de quatre chaudières Nielausse accouplées deux à deux, à grille mobile et à économiseur Green, chaque groupe desservi par une cheminée, ce qui réduit la longueur des carneaux. La cheminée a 55 m. de haut avec un diamètre intérieur de 2,90 m. au sommet.

368. *Alimentation en combustible.* — Les chaudières ont été prévues pour une alimentation en combustibles de basse qualité (grillons de coke ou poussier de coke), qu'une usine à gaz produit toujours en grande quantité. Les poussières peuvent être mélangés à du charbon gras amené par voie ferrée jusqu'au parc qui occupe 80 m. \times 55 m. et qui est desservi par un pont transbordeur commun à l'usine à gaz et à la station centrale. Le chariot roulant de ce pont transbordeur porte une benne-piocheuse qui permet de mettre en tas le charbon pris dans les wagons, ou de le reprendre quand il est nécessaire.

Les différentes sortes de combustibles qu'il y a lieu de mélanger sont alors versées dans quatre trémies en contre-bas du sol formant deux séries parallèles et au-dessous desquelles circulent deux convoyeurs à palettes, destinés, l'un au poussier, l'autre au charbon, qui se déversent l'un et l'autre en se mélangeant sur un troisième convoyeur. Tout ce dispositif, en sous-sol, est actionné par un moteur électrique.

Enfin, le troisième convoyeur déverse le mélange dans les godets d'une chaîne verticale placée dans la chaufferie, qui monte le combustible dans la travée centrale. Le combustible y est reçu sur une courroie transporteuse et est déversé, par l'intermédiaire d'un chariot verseur, dans les huit soutes ou trémies que l'on voit sur la planche et qui alimentent les chaudières. Le remplissage se fait à volonté, soit dans une soule déterminée, soit simultanément dans toute une rangée. On remarquera sur la coupe que les deux rangées de soutes principales de 34 m³ sont séparées par des soutes plus petites de 21 m³ où l'on emmagasine du charbon de meilleure qualité, de manière que, par le jeu des ventelles, on puisse faire varier la composition du mélange.

Les goulottes obliques soutenues par des palans déversent à leur tour le charbon dans les trémies ménagées en façade des générateurs.

369. Évacuation des cendres. — Comme on le voit sur les croquis, les cendres tombent dans une galerie ménagée à l'arrière des générateurs et d'où l'on peut les évacuer par wagonnets.

Les galeries ne sont pas enterrées et c'est ce qui a obligé à donner à tout le bâtiment une grande hauteur.

370. Salle des machines. — Le bâtiment des machines, en y comprenant les travées des pompes et de l'atelier, mesure 36 m. de largeur hors œuvre. Chaque groupe turbo-alternateur occupe 8 m. mesurés sur l'axe du bâtiment, laissant ainsi une large allée entre deux groupes consécutifs et des allées longitudinales de circulation.

371. Installation électrique. — Les quatre groupes turbo-alternateurs (courant triphasé 10 000 volts, 50 périodes) ont des puissances différentes : 1 de 6 000 kilowatts; 2 de 4 000 kilowatts et 1 de 2 000 kilowatts.

On y a joint deux convertisseurs de 200 kilowatts pour produire du courant continu et deux survolteurs qui servent à charger une batterie d'accumulateurs, installée sous la tribune du tableau et destinée à assurer la continuité des services alimentés en courant continu : éclairage, pont-roulant, grilles mécaniques, etc.

Un pont-roulant électrique d'une portée de 19 m. et de 30 tonnes dessert la salle des machines.

§ 2. — USINE ÉLECTRIQUE A VAPEUR DU CAP PINÈDE

372. — La C^{ie} d'électricité de Marseille a construit au Cap Pinède une usine fournissant l'électricité nécessaire à l'éclairage partiel de Marseille. Cette usine produit, à l'aide de la vapeur, du courant triphasé à 5 500 volts (fréquence 50) pour l'envoyer, d'une part à une station située rue Mazagan, d'autre part à des postes de transformateurs répartis dans la ville.

La sous-station transforme le courant triphasé en continu à

2×110 volts pour la distribution. Les postes de transformateurs alimentent un réseau triphasé à 4 fils à 110-190 volts. L'une et l'autre de ces distributions ont le fil neutre à la terre.

373. — L'usine est située sur les nouveaux quais en face du bassin de la Pinède. L'approvisionnement en charbon est ainsi assuré dans d'excellentes conditions, ce qui est une des conditions que nous avons énumérées pour la bonne organisation d'une usine.

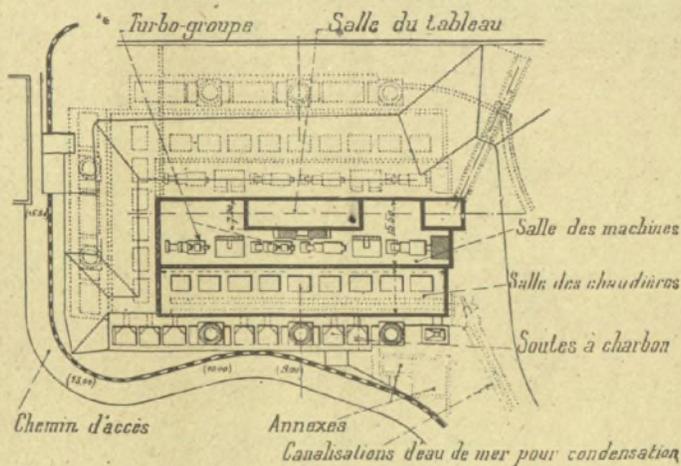


Fig. 162. — Usine du Cap Pinède.

La seconde condition est qu'on puisse donner à l'usine les agrandissements ultérieurs.

La figure indique précisément que tout a été prévu à cet égard (fig. 162).

A sa puissance actuelle, l'usine comprend quatre groupes électrogènes d'environ 2000 kilowatts chacun.

L'eau de condensation est prise et ramenée à la mer par un double égout.

Chaque groupe a ses chaudières, sa tuyauterie, ses appareils d'alimentation, sa machinerie distincte, de manière qu'un accident n'ait aucune répercussion sur l'ensemble.

Chaque groupe de chaudières comprend une batterie de trois générateurs produisant normalement 6000 k. de vapeur à l'heure (pression 15 k., température 350°).

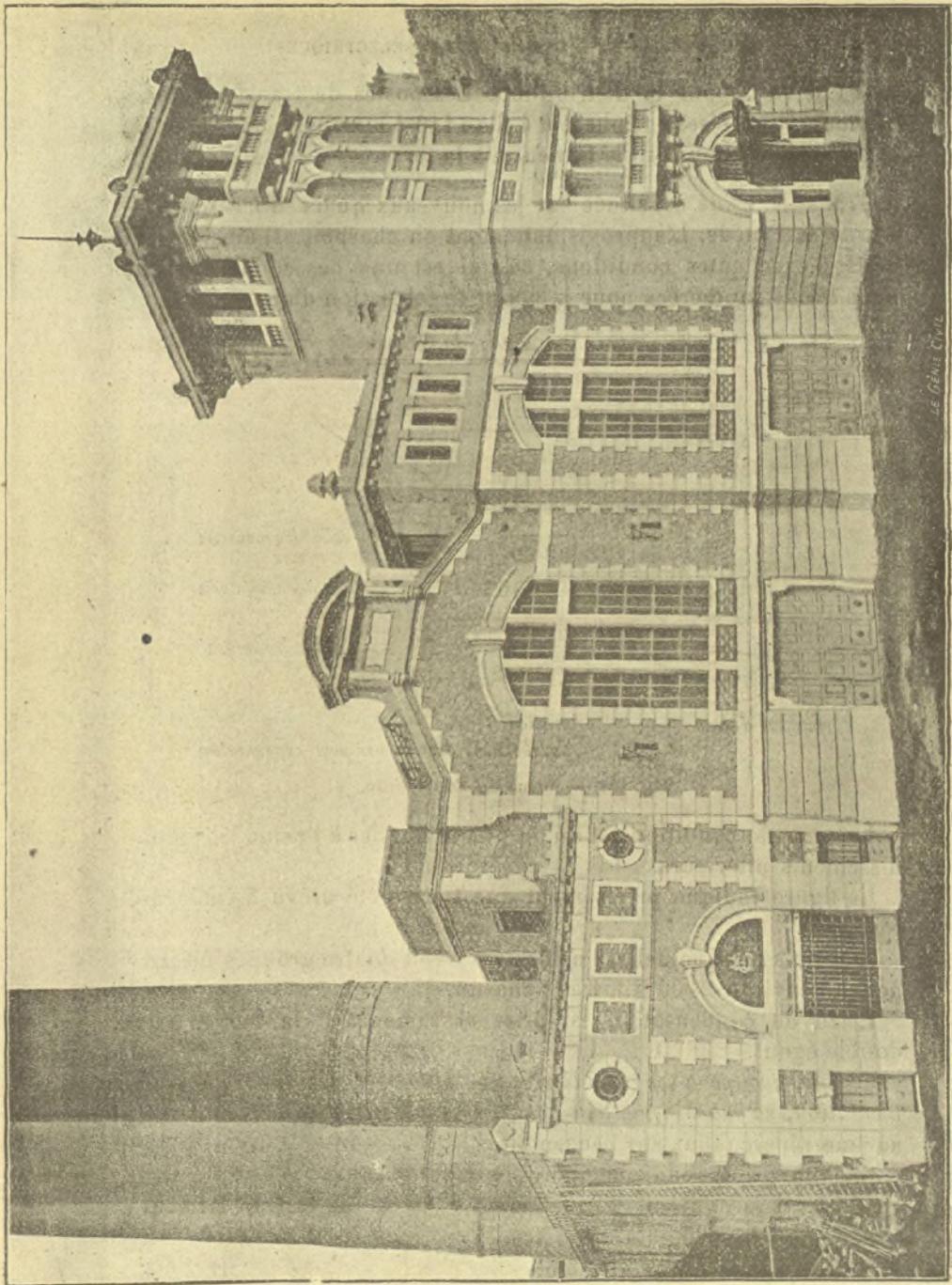
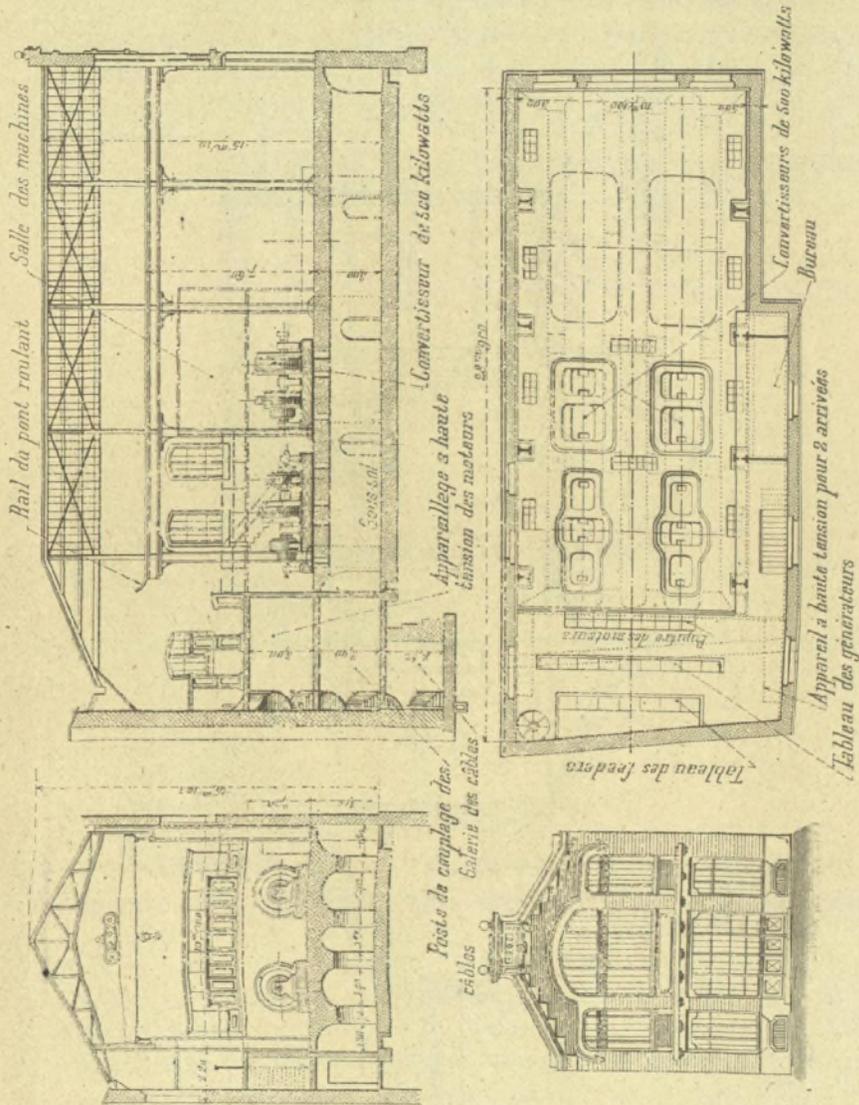


Fig. 163. — Usine du Cap de Pinède.

Une partie des chaudières est à foyer automatique.



Dimensions :	Surface de chauffe.	355 m ²
	Surface de grille.	9 —
	Surface du surchauffeur	120 —

Fig. 164. — Élévation, coupes verticales et plan de la sous-station de la rue de Mazegrén.

A chaque groupe correspond une cheminée de 55 m. de hauteur et 2,60 m. de diamètre au sommet.

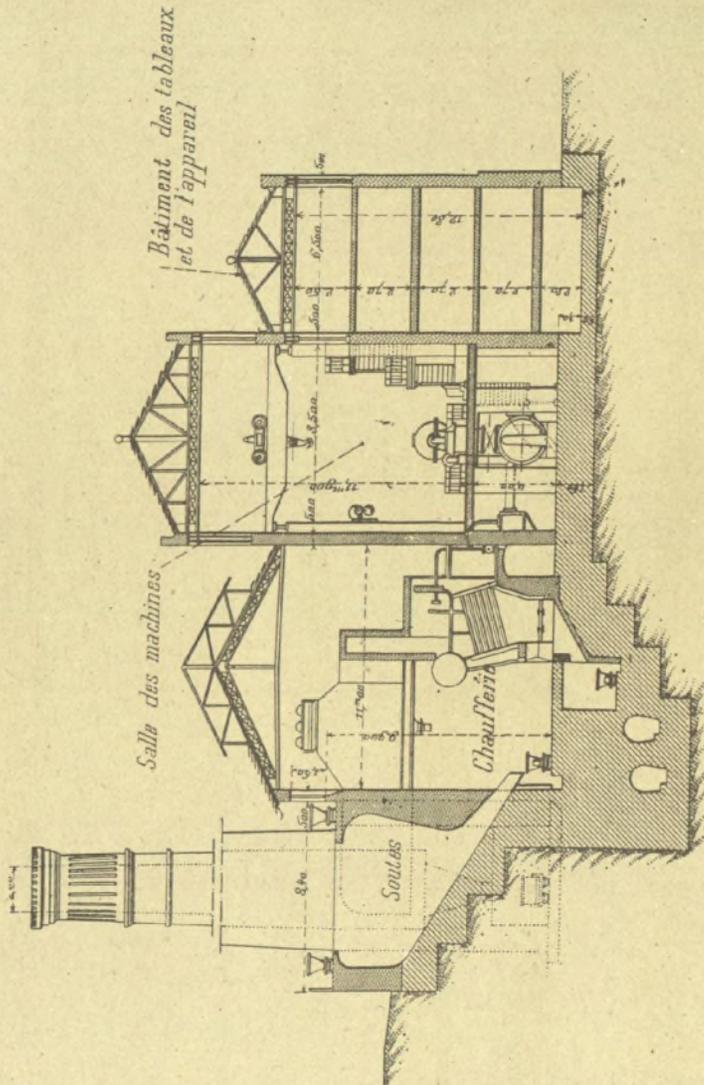


Fig. 165. — Coupe transversale.

L'évacuation des escarbilles se fait par un tunnel à l'extrémité duquel est un monte-charge permettant d'élever les wagonnets

jusqu'au niveau supérieur d'une soute spécialement aménagée pour recevoir les escarbilles et les déverser dans des tombereaux.

Les soutes à charbon sont en bordure de la salle des chaudières, entre les cheminées. On amène les wagonnets de charbon sur une plate-forme établie au niveau supérieur des soutes où ils se déversent directement.

Du côté des chaudières, chaque soute est pourvue d'une trémie de vidange.

374. Sous-station. — Nous ne nous étendrons pas sur l'organisation de la sous-station de la rue Mazagran, dont nos croquis permettent de se rendre suffisamment compte.

§ 3. — USINE DU MÉTROPOLITAIN DE PARIS

375. — Nous allons donner une monographie succincte de la très belle *Usine génératrice d'électricité* élevée sur le quai de la Rapée par M. l'architecte Friésé, pour le Métropolitain de Paris⁽¹⁾.

Cette usine abrite : 54 chaudières présentant chacune de 245 à 250 m² de surface de chauffe, soit ensemble 13 350 m².

3 réchauffeurs, 8 machines électrogènes (4 de 2 200 chevaux, 4 de 3 000 chevaux; soit en tout 20 800 chevaux-vapeur); 12 transformateurs d'une puissance de 12 000 kilowatts; 4 commutateurs de chacun 3 000 kilowatts, et tous les appareils accessoires.

Un bâtiment spécial, en bordure sur le quai, a été aménagé pour les bureaux centraux de la C^{ie} du Métropolitain.

376. — Chaque groupe électrogène forme comme un ensemble autonome comprenant la dynamo génératrice, son moteur à vapeur et ses générateurs; il était naturel de placer tous ces groupes en file et il en résulte le plan très simple adopté par l'architecte — la simplicité étant la première qualité d'un semblable ouvrage, — où l'on voit en une seule ligne médiane toutes les machines électrogènes, avec les transformateurs intercalés et les excitatrices au centre de la ligne; puis, en deux lignes parallèles à celle des électrogènes, et, de part et d'autre, les générateurs placés côte à côte,

(1) Voir le journal *l'Architecture* (année 1900, p. 390 et 412; année 1904, p. 157 et 168.)

et, enfin, en arrière des générateurs, les dépôts de charbon formant encore deux lignes parallèles.

Ce sont des silos bas à ventelles verticales; le transport aux foyers est fait par des chariots d'alimentation sur rails.

377. — Six cheminées très hautes, réparties en ligne dans tout cet ensemble, assurent l'évacuation de la fumée.

En plan, l'usine occupe ainsi un rectangle allongé entre le quai et la rue de Bercy, où se trouve une seconde issue.

En coupe transversale, elle présente cinq nefs longitudinales correspondantes aux files d'éléments différents que nous avons énumérés.

La nef centrale occupée par les groupes électrogènes, les deux premiers collatéraux plus bas renfermant les générateurs, les deux galeries extrêmes enfin servant aux soutes à charbon.

378. — Toute la construction est en pans de fer et briques. Elle est caractérisée par l'absence de combles en charpente, remplacés par des terrasses en ciment volcanique.

Voici ce qui justifie cette disposition pour la nef centrale tout au moins.

Les poteaux verticaux de cette nef doivent supporter, à grande hauteur, les rails d'un pont roulant permettant de soulever les lourdes machines, en cas de réparation ou de remplacement. Il était, par conséquent, nécessaire de les entretoiser solidement dans le sens transversal, ce qui ne peut se faire qu'au moyen de très fortes poutres horizontales qui semblent mises là tout exprès pour soutenir la travure d'une terrasse. Toute charpente de comble eût été une superfétation inutile entraînant de nouveaux frais.

Les parois longitudinales de cette nef supportent en outre une galerie en fer pour la circulation.

379. — Les fondations ont été exécutées dans des conditions particulièrement difficiles par suite de la nature du terrain et de la proximité de la Seine qui forçaient à aller chercher profondément une couche solide. Toute la masse de la construction, que les chaudières contribuent à alourdir, a été établie sur de nombreux piliers isolés que relie, en dessous du niveau du sol, des voûtes en maçonnerie.

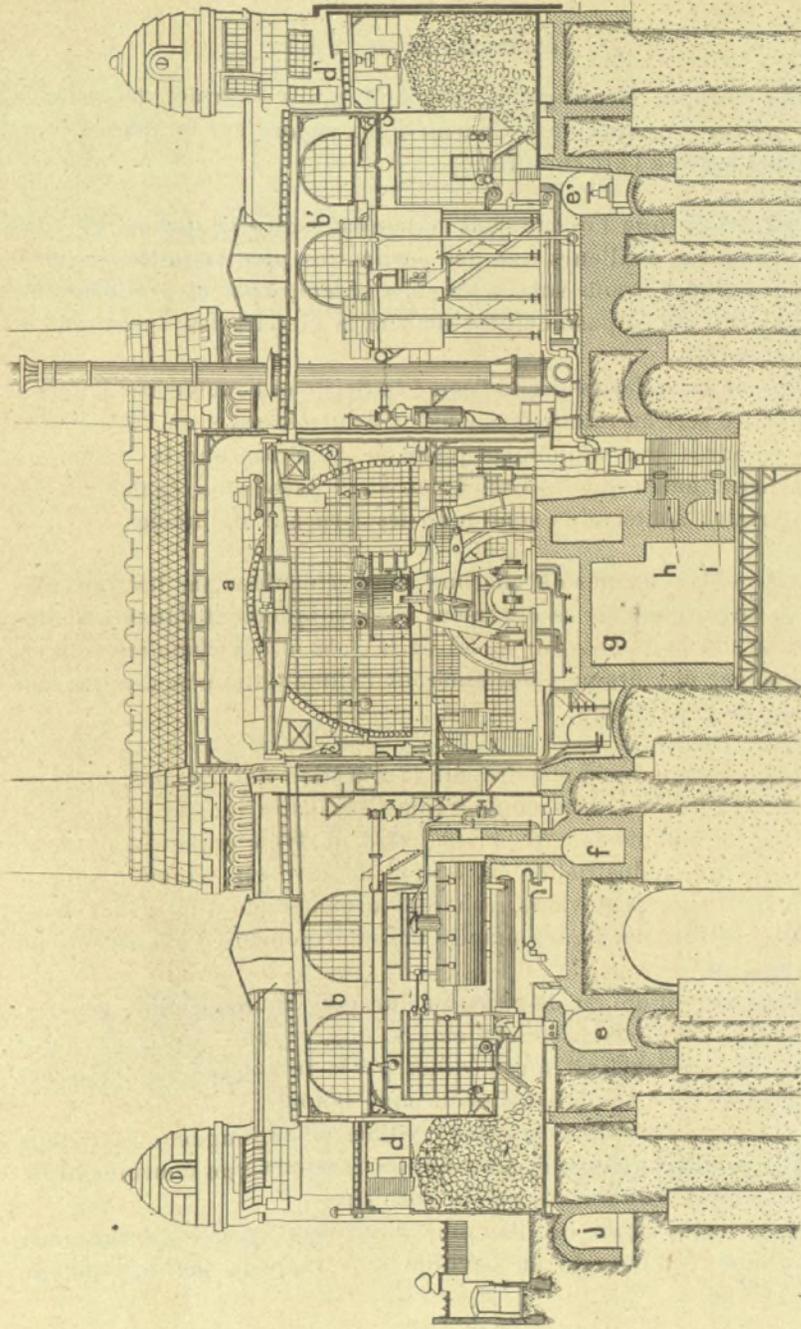


Fig. 166. — Usine génératrice d'électricité du Métropolitain (Architecte P. Friesé). — Coupe transversale.

a, salle des machines; *aa'*, salle des générateurs; *ce'*, soutes à charbon; *dd'*, transporteurs du charbon; *ee'* galerie des cendres; *f*, carneau de fumée; *g*, galerie des câbles; *h*, aqueduc de retour d'eau; *i*, aqueduc d'arrivée d'eau; *j*, galerie d'évacuation des cendres.

Les groupes électrogènes, par leur poids énorme, nécessitaient des précautions spéciales. Chacun d'eux repose sur un massif considérable foncé à l'air comprimé.

380. — Ce que l'on ne voit pas, c'est-à-dire ce qui est en sous-sol, constitue d'ailleurs une des parties les plus importantes de la construction. Ce sous-sol est, en effet, parcouru par un grand nombre de galeries où se passent hors de vue la plupart des opérations de manutention.

Une de ces galeries prend l'eau à la Seine et l'amène aux pompes, une autre sert au retour d'eau usée; d'autres servent à l'évacuation des cendres par wagonnets jusqu'au quai bas sur la Seine, où elles sont embarquées. Les câbles sont suspendus également en souterrain; souterrains sont aussi les carneaux de fumée.

381. — Les bennes de charbon sont véhiculées par les transporteurs horizontaux et se déversent automatiquement dans les soutes d'où le charbon coule sur le sol de la galerie des chaudières; il est repris par des dragues qui assurent l'alimentation mécanique des foyers de générateurs.

382. — Sans nous étendre sur la question des façades, nous ne saurions terminer cette monographie sans dire que le parti architectural adopté par M. Friésé offre un type remarquable de la construction industrielle. La brique de diverses teintes y joue le principal rôle, sans vaine recherche ornementale, tout l'effet décoratif ressortant des lignes simples mais harmonieuses qui accentuent les façades.

Au-dessus d'un rez-de-chaussée formant soubassement général, les baies des deux premiers étages sont réunies entre de hauts pilastres qui élègissent tout l'édifice par la prédominance des lignes verticales. Un étage à balcon couronne le tout.

La façade est coupée en deux points de sa longueur, par deux motifs montant de fond et accusant les escaliers que couronnent les pleins cintres contournés par la corniche.

Enfin cette façade est flanquée d'une tour carrée servant aux élévateurs et couverte en pavillon, qui rappelle les donjons du moyen âge.

CHAPITRE XVI

RÉALISATION D'UNE FORCE HYDRAULIQUE

§ 1. AMÉNAGEMENT D'UNE CHUTE. — Puissance d'une chute. — Travaux d'aménagement. — a) Usine en rivière. — b) Usine en torrent.

§ 2. DÉTAILS D'ORGANISATION ET DE CONSTRUCTION. — A. Barrages. — a) Dignes et barrages en terre. — Barrages mixtes en maçonnerie, profl. — Hausses mobiles et divers. — Barrage à vannes. — B. Prises d'eau. — Prise directe. — C. Canal d'aménée. — D. Ouvrage de garde. — E. Conduites forcées.

§ 3. ORGANISATION D'ENSEMBLE. — Exemples d'installations. — Organisation hydraulique de l'usine du lac de Chalain.

§ 1. — AMÉNAGEMENT D'UNE CHUTE

383. — L'aménagement d'un cours d'eau pour l'utilisation complète et rationnelle de la force motrice a fait l'objet d'un cours de M. Lévy-Salvador, et nous prions de s'y référer.

Nous ne ferons donc que parcourir très rapidement ce sujet, en insistant plus particulièrement sur les procédés constructifs.

384. Puissance d'une chute d'eau. — On a les moyens de créer une force hydraulique chaque fois que l'on peut recueillir et utiliser le travail produit par une certaine masse d'eau tombant d'une hauteur déterminée H , et l'on a

$$T = PH \text{ kilogrammètres.}$$

P étant le poids de la masse d'eau en kilogrammes, H la hauteur de chute en mètres.

La puissance en chevaux-vapeur est

$$\mathcal{P} = \frac{PH}{75} \text{ chevaux.}$$

D'ailleurs le litre d'eau pèse 1 kg., le poids P est représenté par le même nombre que le débit Q en litres par seconde. Le travail brut est donc défini en prenant le produit du débit en litres-seconde par la hauteur de chute en mètres.

Puissance brute :

$$\mathcal{P} = \frac{QH}{75} \text{ chevaux,}$$

et si l'on estime à $\frac{75}{100}$ le rendement, on aura :

Puissance utile :

$$\mathcal{P}_u = \frac{75}{100} \frac{QH}{75} = \frac{QH}{100} \text{ chevaux.}$$

Pour 1 m³ d'eau ou un débit $Q = 1\ 000$ l. et une hauteur de chute $H = 1$ m., on aurait donc

$$\mathcal{P}_u = \frac{1\ 000}{100} = 10 \text{ chevaux.}$$

Ainsi, en chiffres ronds :

On peut évaluer la puissance d'une chute à autant de fois 10 chevaux qu'elle peut fournir de mètres cubes par mètre de hauteur.

385. Aménagement. — L'aménagement d'une chute comprend :

1° Le *captage* qui rassemblera les eaux dans un bief d'amont et relèvera le niveau supérieur à une cote à peu près constante, au moyen d'un barrage;

2° La *prise d'eau* en amont du barrage;

3° Des *travaux d'adduction* sur le trajet compris entre la prise et l'usine hydraulique;

4° L'*installation de cette usine*;

5° Un *canal de fuite*, faisant pour ainsi dire le vide au delà des turbines et restituant les eaux à l'ancien lit après leur utilisation.

386. — L'organisation générale différera d'ailleurs suivant qu'il s'agira d'établir l'usine sur une rivière à pente régulière ou sur un torrent à pente rapide.

Deux schémas vont nous rappeler les principes de cette organisation.

387. a) Usine en rivière. — Vallée large et plate, à faible pente;

grand volume d'eau : donc impossibilité de barrer la vallée et de relever le plan d'eau sur une grande hauteur.

En outre, nécessité d'évacuer rapidement les crues pour ne pas inonder la vallée riche et peuplée — un simple déversoir y serait insuffisant.

Dès lors, l'organisation comprendra :

Un barrage décomposé en un certain nombre de pertuis fermés par des vannes que l'on peut ouvrir pour évacuer les crues. Ces pertuis sont compris entre des piles fixes.

Il sera nécessaire d'établir un déversoir, soit dans le prolongement

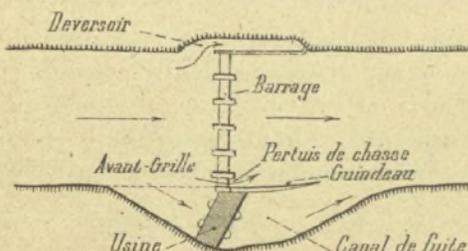


Fig. 167. — Schéma d'une installation en rivière.

du barrage, soit le long d'une rive d'aval, pour évacuer le débit normal, lorsque l'usine ne l'absorbe pas en entier.

Le bief d'aval étant en pente douce, on ne gagnerait pas sensiblement sur la différence de niveau, en allant placer les turbines à une grande distance en aval. On sera donc conduit à établir l'usine près du barrage ou sur le barrage lui-même, ce qui supprime les travaux d'adduction de grande longueur.

Le schéma d'installation de ce genre qu'indique la figure est d'un type à peu près général que nous retrouverons dans la description détaillée de l'usine de la Tuilière.

388. *b) Usine en montagne.* — En pays de montagne, les torrents sont encaissés; les versants abrupts de la vallée sont d'ailleurs de médiocre valeur, en sorte qu'il n'y a pas grand inconvénient à les noyer, ou du moins on n'est pas entraîné à des indemnités coûteuses.

Le barrage pourrait donc être d'une grande hauteur.

Il n'y a pas davantage d'inconvénient d'inondation en cas de

crue exceptionnelle; et d'ailleurs le volume des eaux est loin d'avoir la même importance que sur une grande rivière; ainsi disparaît la nécessité de recourir à des pertuis et à des vannes : le barrage sera donc un mur plein, mais on aura soin cependant d'aménager un déversoir suffisamment long.

Par suite des fortes pentes du profil en long du cours d'eau, il est possible d'augmenter la chute pour peu qu'on s'éloigne du pied du barrage, ce qui conduit à établir l'usine à une distance souvent considérable de la prise d'eau, d'où la nécessité de travaux importants pour l'adduction jusqu'aux turbines.

389. Organisation schématique. — De ces considérations, on peut aisément déduire le plan d'organisation schématique de l'usine.

Le barrage étant construit en *bc*, on ouvrira la prise d'eau dans la berge en *ab* (fig. 168) offrant tout d'abord, entre deux grilles, une chambre de décantation facile à nettoyer par des chasses.

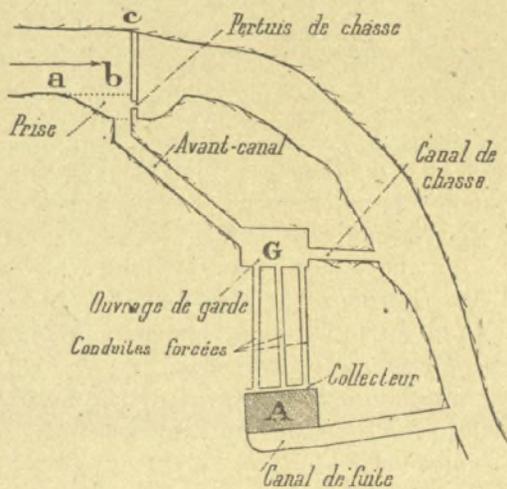


Fig. 168. — Usine en montagne.

L'adduction se fera d'abord par un canal à faible pente, qui sera généralement à ciel ouvert, mais qui peut être en tunnel, jusqu'au bord de l'escarpement où l'on établira un bassin ou *ouvrage de garde* G. Ce bassin étant susceptible de s'ensabler, il est bon, par conséquent, de le pourvoir d'un canal de chasse fermé par une vanne.

C'est sur le bassin de garde que s'amorcent les conduites forcées qui descendront à forte pente et par le chemin le plus court, pour aboutir au collecteur desservant les différentes turbines de l'usine A.

L'eau, après utilisation, s'échappe enfin dans un canal de fuite qui la ramène au lit du torrent.

On voit que pour réduire la longueur totale des installations, entre la prise et le débouché du canal de fuite, à l'aval, on a intérêt à choisir pour emplacement l'isthme plus ou moins étroit formé par une boucle du cours d'eau, le développement de cette boucle assurant une grande dénivellation, tandis que la largeur étranglée de l'isthme limite la distance des deux points extrêmes, c'est-à-dire de la prise et de l'usine.

§ 2. — DÉTAILS D'ORGANISATION

A. — BARRAGES

390. a) *Digués et barrages en terre.* — Dans les travaux en rivière, on a fréquemment l'occasion d'établir des digues et des barrages pleins de hauteur modérée, qu'il suffit de constituer par un remblai en terre dont le profil général est triangulaire.

Les deux conditions à remplir sont : la stabilité et l'étanchéité.

La stabilité exige une masse assez grande pour que l'ouvrage ne soit pas emporté par la poussée de l'eau.

L'étanchéité exige que le remblai soit constitué en argile fortement corroyée. Si l'on ne dispose pas de grandes quantités d'argile, on peut se contenter de former un massif central d'épaisseur restreinte et de profil trapézoïdal, à parois faiblement inclinées sur la verticale, soutenu de part et d'autre, et bloqué en quelque sorte par du remblai en terre quelconque achevant d'établir le profil nécessaire avec des talus en pente douce.

Lorsque le terrain sur lequel repose la digue est compressible, le remblai commence par s'enfoncer en le faisant refluer et remonter même à droite et à gauche. Il faut donc compter que le cube de remblai total sera beaucoup plus grand que celui qui remplirait strictement le profil théorique.

Dans le cas d'un bon terrain, on devra, pour y accrocher le

remblai et l'empêcher de glisser, tailler des tranchées longitudinales où ce remblai pénètre et forme comme des redans transversaux.

391. — Le profil définitif est un triangle tronqué en son sommet par une plate-forme de 5 à 8 m. de largeur, que surmonte généralement un petit mur à bahut.

Le talus noyé à l'amont est incliné à $3/2$, et la pente générale d'aval est à peu près la même; mais ces deux parements sont coupés en gradins, et, tandis que ceux d'aval sont formés de bermes assez larges et assez distantes les unes des autres, le tout simplement gazonné, les gradins d'amont sont plus courts et protégés par un revêtement en perré de pierres sèches, dont l'épaisseur, de 0,50 m. au sommet, va en croissant légèrement et atteint généralement 0,80 m. à la base. Le perré est établi sur une couche filtrante formant drainage, en gravier. Quelquefois, on se contente de recouvrir le talus d'enrochements irréguliers; mais le perré vaudra toujours mieux, et, pour les grandes hauteurs, il conviendra même de le maçonner au mortier.

392. — On doit en même temps se préoccuper d'empêcher les infiltrations de pénétrer par le pied du talus sous la masse de remblai dont le glissement et l'affaiblissement seraient ainsi facilités. On y parvient en enfonçant à 5 ou 6 m. de profondeur dans le sol, un *mur de garde* ou *parafouille* d'environ 1 m. d'épaisseur, autant que possible jusqu'à une couche imperméable du terrain.

Les digues de cette nature peuvent atteindre des hauteurs relativement considérables.

Le barrage sur le Liez dont nous donnons le profil indique l'application de ces différents principes. La hauteur de retenue est de 14,43 m. au-dessus du lit d'amont, et la digue s'élève à 2,10 m. au-dessus de ce niveau. Le talus d'amont est à la pente générale de $3/2$. Le talus d'aval est divisé en trois gradins dont les talus sont à pente décroissante $3/2$, $7/4$ et $2/1$, aboutissant à une cuvette d'assèchement. On voit enfin comment l'implantation s'est faite sur le terrain naturel après enlèvement de la couche de vase et le creusement de tranchées de 1,50 m. \times 1 m. séparées par des merlons de 7,5 m.

Le mur de garde s'enfonce dans une couche de marnes pourries mêlées de rognons et s'appuie sur la marne bleue.

Le remblai est tout en argile corroyée.

393. *b) Barrages mixtes.* — Nous avons dit que, pour assurer l'étanchéité, on pouvait constituer, au milieu du remblai, un massif en argile fortement corroyée à parois faiblement inclinées sur la verticale. C'est un véritable mur en terre, et l'on conçoit qu'on améliorera sensiblement les conditions de stabilité et d'étanchéité, en y remplaçant l'argile par de la bonne maçonnerie au mortier de chaux hydraulique.

En outre, tandis que le massif d'argile ne peut se tenir sous un talus raide qu'en l'épaulant d'un remblai sur ses deux faces, cette sujétion n'existe plus pour le mur en maçonnerie que l'on peut laisser à parement vu en amont, le remblai d'aval ne servant que de butée contre la poussée et permettant de réduire les épaisseurs de maçonnerie.

394. *c) Barrages en maçonnerie.* — On peut enfin constituer tout le massif du barrage en bonne maçonnerie.

Lorsque la hauteur est faible, on peut se contenter d'un mur à profil rectangulaire. Mais, pour la stabilité, l'on doit lui donner une épaisseur relativement considérable, puisqu'elle atteint les $\frac{2}{3}$ de la hauteur.

Il est donc économique de recourir à un profil trapézoïdal où l'épaisseur va en diminuant de la base au sommet, à mesure que la pression de l'eau diminue.

Le fruit d'amont est généralement de $\frac{1}{10}$, quelquefois de $\frac{1}{20}$. Le parement d'aval est plus incliné. Théoriquement, le profil doit être déterminé de manière que la ligne des centres de pression sur toutes les assises successives soit toujours comprise dans le $\frac{1}{3}$ central des assises. C'est la condition pour qu'il ne s'exerce pas, sur les parements, d'efforts d'extension susceptibles de produire des fissures.

On doit d'ailleurs envisager deux cas et déterminer les deux lignes limites des centres de pression, suivant que le réservoir d'amont est plein d'eau ou complètement vide.

On sait ce qu'il faut entendre par là.

Le long du parement intérieur, sur une bande de 1 m. de large, l'eau exerce en chaque point une pression qui varie linéairement et qui est $p = 1\,000 z$ si z est la hauteur de l'eau au-dessus du point considéré. Sur l'assise inférieure, par exemple (et cette assise peut être quelconque), la résultante des pressions ou *poussée* Q est normale à la paroi; elle s'exerce au $1/3$ de la hauteur et a pour valeur

$$Q = \frac{1}{2} 1\,000 H^2.$$

Si on la compose avec le poids P de la maçonnerie, on obtient une résultante R qui perce l'assise en C. C est le centre de pression.

C'est ce centre de pression qui doit se trouver dans le $1/3$ central de l'assise; et en opérant sur un certain nombre d'assises on arrivera aisément à tracer la ligne des centres de pression.

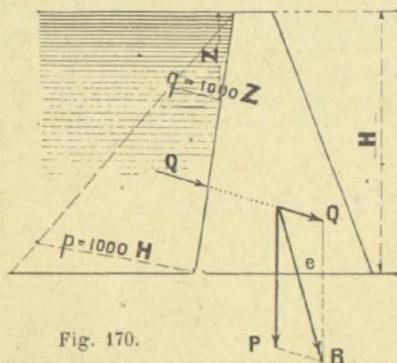


Fig. 170.

395. Barrage de grande hauteur dans une vallée encaissée. — Lorsqu'il s'agit d'établir un barrage plein de grande hauteur sur un cours d'eau encaissé, il y a lieu de déterminer tout d'abord l'emplacement avec le souci d'emmagasiner un grand volume d'eau, au niveau le plus élevé possible, en y dépensant le minimum de maçonnerie.

On devra donc choisir un endroit rétréci de la vallée, de manière à limiter la longueur de l'ouvrage; mais il faut s'assurer, en outre, que le terrain qui doit lui servir d'assiette et que les flancs du ravin où le barrage va s'enraciner présentent une résistance suffisante. Il convient que ce soit de la roche compacte et non fissurée pour éviter les infiltrations qui, en pénétrant sous le massif des maçonneries pourraient en modifier dangereusement les conditions de stabilité.

396. — En plan, on donne souvent au barrage la forme d'un arc dont la convexité est tournée vers l'amont (fig. 171). L'ouvrage se comporte alors comme une voûte à génératrices verticales, reportant les pressions sur les sommiers, c'est-à-dire sur les rives. En

outré, et par suite de la compression qui en résulte dans toute la masse, les joints de la maçonnerie tendent à se serrer et l'étanchéité est ainsi mieux assurée.

Néanmoins, cette disposition n'est pas indispensable; elle augmente le cube des maçonneries et l'on y renonce souvent.

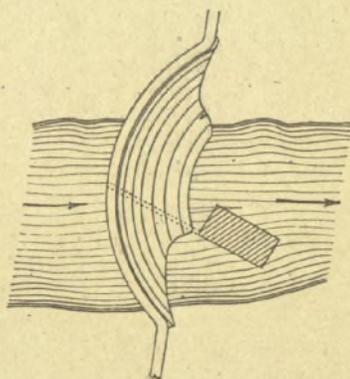


Fig. 171. — Barrage Roosevelt
(États-Unis).

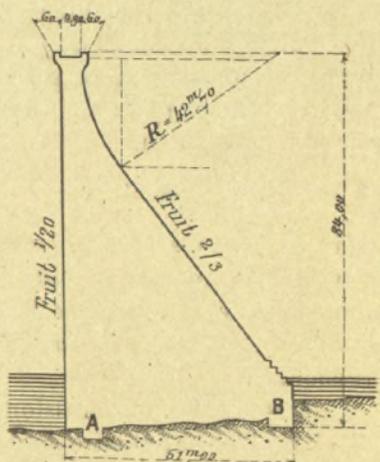


Fig. 172.

397. Profil — a) Tant que la hauteur h ne dépasse pas 15 à 16 m., on peut se contenter d'un profil en trapèze, fruit intérieur 1/10, avec les dimensions suivantes :

Épaisseur, au sommet	$l_1 = \frac{1}{3}h.$
— à la base	$l_2 = \frac{2}{3}h.$
— moyenne	$\frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{1}{2}h.$

b) Pour les murs de très grande hauteur (au delà de 16 m.) le profil en trapèze donnerait un cube de maçonnerie trop grand. Au lieu d'une pente uniforme, le parement d'aval affecte une courbe concave telle que les courbes des centres de pression soient sensiblement au 1/3 des assises.

On pourrait, par exemple, se rapprocher de la règle pratique ci-après, où le mur est supposé décomposé en un certain nombre de

L'eau exerce une pression croissante avec la hauteur de charge. On peut donc tracer la ligne de charge AB sur le parement AE qui a un fruit uniforme, et CD sur le parement EF.

Les poussées sur les différentes zones sont données par les surfaces du triangle AIJ et des trapèzes IJEB et ECDF. Ces poussées sont respectivement Q_1 , Q_2 , Q_3 ,...

Cela posé, on doit s'assurer de la stabilité dans les deux hypothèses :

- 1° Le réservoir d'amont est vide;
- 2° Le réservoir est plein.

On déterminera alors les deux courbes des centres de pression correspondantes, comme nous l'avons indiqué sommairement au n° 337, et ces courbes limites devront être tout entières comprises dans le 1/3 central du massif qui est indiqué sur la figure 173 par les deux lignes mn , $m'n'$.

399. — L'organisation de la crête varie suivant qu'il s'agit d'un barrage de retenue ou d'un déversoir.

Dans le premier cas, le mur est un peu plus élevé que le plus haut niveau d'eau prévu, cette partie ou *revanche*, doit être assez épaisse pour résister au battellement des vagues. Souvent, on en profite pour y ménager un chemin de ronde.

400. Déversoir. — Lorsque le barrage sert de déversoir, on lui donne 2 m. environ de largeur en crête pour résister à l'entraînement dynamique provoqué par le frottement de la masse d'eau qui est animée d'un mouvement rapide.

D'après Lesbros, on peut exprimer le débit d'un déversoir par la formule :

$$Q = 0,35lh\sqrt{2gh},$$

où l est la longueur de crête déversante, et h la hauteur de la nappe d'eau d'amont au-dessus de la crête.

Il est bon d'arrondir les angles au sommet et de raccorder le parement incliné par une courbe concave de grand rayon, avec le lit d'aval, où, sur une certaine longueur, on dispose souvent des enrochements. On peut également buter le pied du barrage à une ligne de pieux et de palplanches.

La face inclinée d'aval ne doit pas être lisse; on doit, au contraire,

laisser les pierres rugueuses et parfois même on dispose quelques

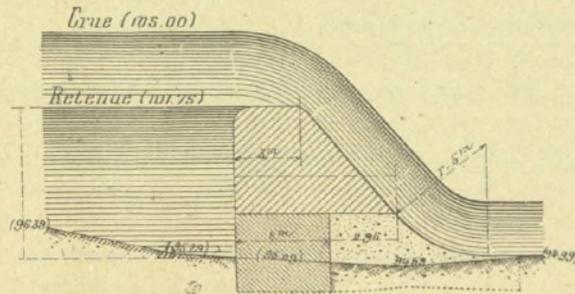


Fig. 174. — Usine d'Entraygues. Coupe du barrage sur l'Argens.

blocs en saillie, posés en quinconce, afin de ralentir la chute de l'eau qui corroderait rapidement la paroi.

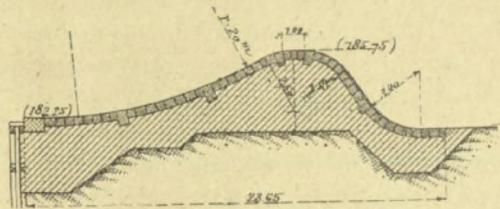


Fig. 175. — Usine de Vizzola. Déversoir de 290 mètres.

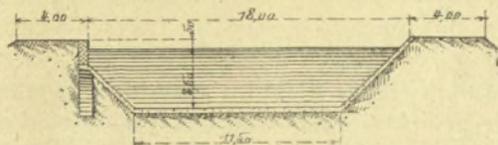


Fig. 176. — Usine de Vizzola. Coupe transversale du canal d'aménée.

401. Barrages métalliques et en béton armé. — Les Américains ont imaginé de remplacer, pour les hauteurs moyennes tout au moins, les murs épais en maçonnerie par des rideaux métalliques soutenus par des fermettes en fer.

Le rideau lui-même est fortement incliné de bas en haut vers l'aval, de manière à redresser la résultante des poussées qui rencontre ainsi le terrain d'aval à peu près au milieu de la base d'appui de la

charpente métallique ou plutôt de la semelle où elle s'ancre, répartissant ainsi la pression à peu près uniformément sur toute la partie du terrain couverte par le radier.

L'inconvénient des barrages métalliques, c'est leur rapide usure dans l'air humide; mais on peut l'éviter en recouvrant le fer de béton.

Les barrages en béton armé semblent donc appelés à des applications nombreuses. Ils présentent, sur les ouvrages en maçonnerie, l'avantage d'avoir eux-mêmes un poids très faible, en sorte qu'on peut les asseoir sur des terrains moyennement résistants, alors que les barrages en maçonnerie exigent presque exclusivement un fond rocheux.

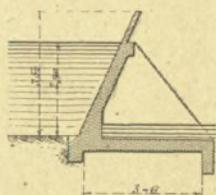


Fig. 177. — Barrage de Dansville (États-Unis).

402. — D'après ce qui précède, on voit qu'en principe, un barrage en béton armé comprendra une semelle ou radier horizontal, un rideau fortement incliné et des contreforts triangulaires réunissant le rideau au radier.

On termine souvent le radier par deux bèches s'enfonçant dans le sol, afin de résister au glissement et de s'opposer aux infiltrations sous le radier. Cependant, il est très difficile de supprimer complètement ces infiltrations; mais il est possible de les rendre inoffensives en perçant le radier lui-même de barbicanes verticales qui font disparaître l'effet des sous-pressions.

403. — Un simple rideau d'amont suffit complètement lorsqu'il s'agit d'un barrage de retenue; mais si l'ouvrage doit servir de déversoir, il serait à craindre que la masse des eaux, si elles tombent d'une grande hauteur (*barrage d'Austin*, 20 m., fig. 178), ruinent rapidement l'avant-radier; dans le cas même où il y aurait en aval un matelas d'eau assez épais pour amortir les chocs, il s'y produirait des remous préjudiciables à la résistance du radier.

Dans ce cas, il est bon de disposer un rideau d'aval destiné à amortir la chute, comme on le voit pour le *barrage de Schuylerville* (fig. 179), qui constitue, en définitive, un barrage-déversoir de la forme ordinaire, mais creux. On y a disposé une série de planchers permettant une circulation intérieure continue, grâce à des baies

percées dans les contreforts qui sont espacées de 2,46 m., et ont une épaisseur variant de 0,30 m. au sommet à 0,50 m. à la base.

En outre, le radier est percé de barbacanes *tt* comme celles dont nous avons parlé plus haut, pour supprimer les sous-pressions, et la

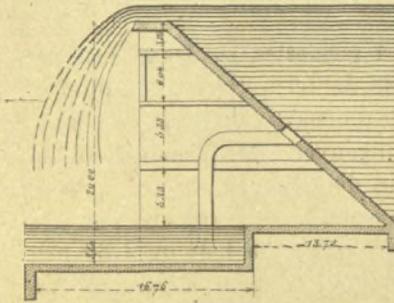


Fig. 178. — Barrage d'Austin
(États-Unis).

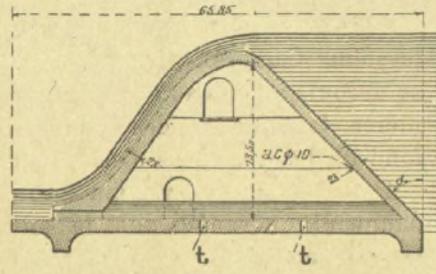


Fig. 179. — Barrage de Schuylerville
(1904).

chambre intérieure communique avec l'aval par des barbacanes horizontales traversant le rideau extérieur, par où s'écoule l'eau provenant du sol.

404. Barrage à pertuis en rivière. — Un barrage permettant l'évacuation rapide des crues est composé, comme nous l'avons dit, d'un certain nombre de pertuis munis de vannes et séparés par des piles ou des chevalets.

Dans le cas de piles en maçonnerie d'une certaine épaisseur, ces piles diminuent sensiblement le débouché. Pour assurer l'écoulement rapide des crues, il est nécessaire que le débouché définitif soit au moins égal à celui des ouvrages existants en amont — des ponts par exemple. On est conduit à choisir alors, pour établir le barrage, un endroit où la rivière est particulièrement large.

Indépendamment des barrages spécialement destinés à l'aménagement d'une force motrice, on établit également des barrages en rivière pour améliorer le régime de la navigation, la chute ainsi créée étant utilisée subsidiairement comme source d'énergie.

Toutefois, les nécessités de la navigation elle-même fixent la position de l'ouvrage, obligent le plus souvent à ne pas encombrer le lit par des piles épaisses; enfin, et pour que le barrage puisse

s'abattre et disparaître en entier lorsqu'il s'agit d'évacuer les crues, on a imaginé de nombreux systèmes à éléments mobiles, y compris les points d'appui.

Ces systèmes d'ailleurs ne se prêtent pas à de grandes hauteurs de chute. Nous n'en donnerons qu'un aperçu succinct.

405. Barrages à hausses mobiles et à fermettes — Dans les uns (système Caméré), on dispose une série de fermettes sur lesquelles se déroule un rideau formé de lames de bois articulées par des charnières. Lorsque le rideau est relevé, on renverse les fermettes sur le fond du lit et le cours d'eau a son plein débouché.

Dans les autres (système Boulé), le rideau est remplacé par des panneaux ou vannes dont la surface est limitée à 1,34 ou 1,50 m². On les superpose en nombre suffisant pour assurer la hauteur de retenue que l'on veut réaliser, et on surmonte le tout de vannettes qui n'ont que 0,30 m. de haut, pour qu'on puisse les manœuvrer à la main. Ces dispositions permettent de régler la retenue, en supprimant un nombre convenable de ces vannettes.

Nous n'entrerons pas dans le détail de la manœuvre d'enlèvement des grandes vannes; elle exige l'emploi de moyens mécaniques.

A Poses, on a établi un pont supérieur situé à 5,25 m. au-dessus du niveau des grandes crues. Il n'existe plus, dans ce système, de fermettes susceptibles d'encombrer le lit quand elles sont abattues sur le fond. Le barrage est constitué par une série de panneaux qui se relèvent en pivotant autour de charnières fixées au pont lui-même.

Enfin, dans les barrages à hausses, les panneaux peuvent osciller autour d'un axe horizontal situé à peu près au milieu de leur hauteur, où les tourillons sont articulés sur des bielles dont le pied est également articulé dans le radier. Lorsqu'on relève tout le système, la vanne se redresse dans une position légèrement inclinée vers l'aval; son pied s'arrête sur une butée du radier, et elle est maintenue dans cette position par la bielle servant de contre-fiche.

406. Barrages automatiques. — Il n'est pas inutile de mentionner différents types spéciaux construits par la Société des barrages automatiques de Zurich⁽¹⁾ et qui répondent au but suivant.

(1) On trouvera des détails complets dans le *Génie Civil* du 31 mai 1919.

Si l'on établit un barrage fixe sur un cours d'eau sujet à de grandes variations de débit, il arrive que, pour évacuer une crue subite, il est nécessaire de disposer une très grande longueur de déversoir. Encore sera-t-il impossible d'évacuer la crue sans que le niveau d'amont monte notablement.

Les appareils dont il s'agit ont précisément pour objet de maintenir un niveau constant en augmentant l'épaisseur de la veine d'écoulement suivant le débit, ce qui revient à abaisser la crête du déversoir.

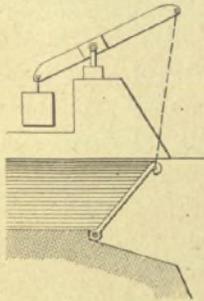


Fig. 180. — Type à contrepoids.

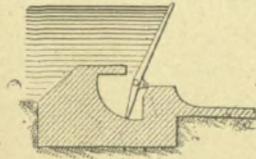


Fig. 181. — Type à vanne compensée.

Barrage de Tresp (Espagne).

On a fait déjà des barrages mobiles à coulisses, à rouleaux, à vannes, etc., actionnés à la main ou par moteur; mais ils sont à la merci de la vigilance du personnel, tandis qu'un organe automatique, jouant par suite même de la crue qu'il s'agit de combattre et de l'exhaussement qui tend à se produire en amont, se trouve affranchi de toute négligence dans la surveillance.

Les figures 180-181 feront comprendre le principe des vannes de la société Zurichoise.

L'un est à contrepoids. La vanne oscillant autour d'une charnière horizontale inférieure est soutenue soulevée par la chaîne du contrepoids, cette chaîne étant attachée au bord supérieur. Le contrepoids est déterminé pour équilibrer la charge d'eau prévue en position normale. Si le niveau de l'eau tend à s'élever, la charge augmente et le bord de la vanne s'abaisse.

Dans le second système, la vanne oscille autour d'un axe qui la divise dans sa hauteur en deux parties inégales, la surface supérieure étant prépondérante, la partie inférieure se déplace dans une galerie ayant un profil de secteur cylindrique. L'équilibre normal

est établi pour une certaine inclinaison et une charge d'eau déterminée. Si le niveau tend à monter, la charge s'accroissant, la vanne s'incline davantage.

407. Barrages à vannes de grande hauteur. — Comme on le conçoit aisément, les systèmes mobiles que nous venons d'examiner rapidement, par suite du poids des éléments à mettre en mouvement, ne sauraient convenir lorsque la retenue est de grande hauteur, 12 m. par exemple, la largeur des pertuis étant nécessairement grande aussi (10 m. le plus souvent) pour ménager un débouché suffisant.

On a imaginé alors de fermer chaque pertuis par une vanne verticale susceptible d'être déplacée dans son plan, au moyen de palans qui la soulèvent. C'est le système Stoney dont nous trouverons une description plus complète dans la monographie de l'usine de Tuilière.

Pour que le débouché puisse être ouvert en grand, il est indispensable que la vanne puisse se relever au moins de sa hauteur. Le bord supérieur d'une vanne de 12 m. se trouvera donc ainsi de 24 m. au-dessus du seuil. Il faudra 2 m. pour les palans de manœuvre, et par conséquent, l'on sera forcé d'établir les treuils sur une passerelle surélevée de 26 m. au minimum. Les piles devront avoir une hauteur équivalente, et tout l'ensemble, comme on le voit, constitue un ouvrage très important et très coûteux.

B. — PRISES D'EAU

408. Prise directe. — La prise d'eau peut se faire directement à travers le barrage en maçonnerie, surtout lorsqu'il s'agit d'un faible débit n'exigeant qu'un orifice restreint.

Le barrage est alors traversé par une buse tronconique, en fonte ou en tôle d'acier, protégée par une grille en avant et reliée au tuyau qui conduit à la turbine. Dans le massif de maçonnerie lui-même, on ménage une chambre étanche où se trouvent les organes de manœuvre, c'est-à-dire une vanne manœuvrée au moyen d'un volant. On dispose également, sur la conduite, un trou d'homme permettant de la visiter pour les nettoyages. Ces nettoyages devant se faire à sec, on dispose de part et d'autre de l'ouverture, en amont, deux petits musoirs en saillie, portant des rainures verticales *mn* destinées à recevoir des poutrelles superposées formant un

atardeau éventuel, suffisamment étanche pour qu'en vidant la conduite, toute la partie en arrière du batardeau se trouve à sec.

409. — La prise directe a l'inconvénient de présenter l'ouverture face au courant, de sorte que la grille frappée normalement, peut s'obstruer facilement.

Il est préférable alors de disposer l'orifice dans une partie de

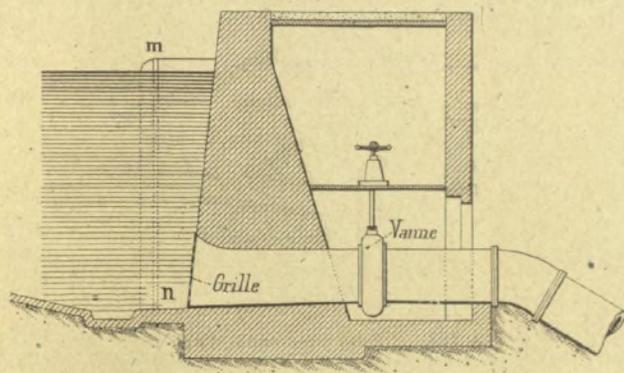


Fig. 182. — Prise directe.

mur en retour, la grille se trouvant ainsi dans le prolongement de la berge. On peut alors ménager dans le barrage proprement dit, et très près de la prise, un petit pertuis de chasse, fermé par une vanne dont l'ouverture permet de nettoyer les abords de la prise et de désensabler.

410. — Toutefois, le cas où les tuyaux de conduite forcée ont leur origine directement dans le bassin formé par le barrage, n'est pas le plus général. Le plus fréquemment, la prise est faite latéralement à ciel ouvert et l'eau s'engage dans un canal d'adduction.

Pour éviter alors les dépôts de sable ou de vase dans ce canal où la pente est toujours assez faible, on doit organiser dès le début du parcours une *chambre de décantation* avec un dispositif de chasse qui permette le nettoyage.

411. — Cette chambre reçoit l'eau directement de la prise avec la seule interposition d'une avant-grille qui doit être dans le prolon-

gement de la berge, ou tout au moins très inclinée sur le courant afin qu'elle ne retienne pas les corps étrangers entraînés. Une seconde grille protège plus spécialement l'accès du canal d'aménée et les vannes qui le commandent.

Ces grilles sont constituées par des fers plats disposés de champ, entretoisés par des fers à T horizontaux. Le tout, avec un fruit de 4/10 environ, est soutenu par des fermettes métalliques.

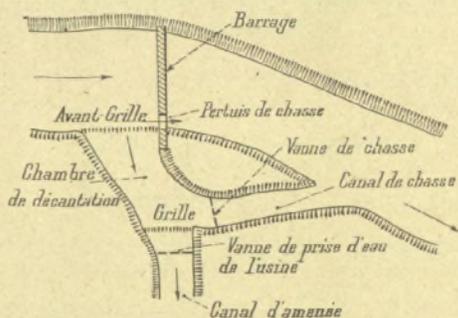


Fig. 183. — Prise avec canal d'aménée.

412. — Lorsque l'usine est dans le prolongement immédiat du barrage, comme il arrive pour les usines en rivière, le bassin de prise est formé par un élargissement du lit. Le bâtiment de l'usine présente un sous-sol divisé par des refends en autant de chambres qu'il y a de turbines, et l'eau pénètre dans ces chambres par des ouvertures fermées par des vannes et protégées par des grilles (voir fig. 163).

Les eaux s'échappent après utilisation par la face opposée à l'entrée, dans le canal de fuite qui est séparé du lit majeur par un *guideau*, petite digue peu épaisse dont la longueur peut avoir une trentaine de mètres (voir un dispositif de ce genre dans la monographie consacrée à l'usine de Tuilière).

C. — CANAL D'AMENÉE

413. — Le canal d'adduction a pour but d'amener l'eau à niveau, aussi près que possible de l'usine, de manière à réduire au minimum la longueur des conduites forcées. Il suit ainsi le plateau jusqu'à la crête, ou se maintient à flanc de côteau, comme l'indiquent les

croquis de la figure 184, qui se rapportent au canal de l'usine de la Vis.

On peut être conduit à creuser le canal en souterrain et, dans ce cas, les parois sont revêtues de béton de chaux hydraulique; mais, pour la douelle de voûte, le roc peut être laissé à vif s'il est assez résistant.

La nature du terrain traversé dicte la manière dont le tunnel peut être construit. Si l'on traverse un banc de roche compacte, on peut se dispenser de revêtir la voûte; il suffit que le périmètre mouillé soit garanti par un revêtement étanche dont l'épaisseur est modérée.

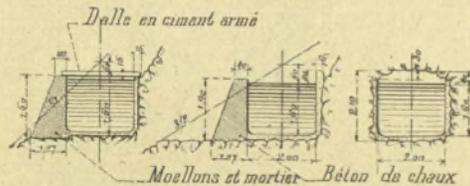


Fig. 184. — Profils en travers du canal de dérivation. Usine de la Vis, à Madières (Hérault).

A ce point de vue, il faut se méfier de certaines roches qui, au moment de l'excavation, paraissent présenter une résistance suffisante, mais qui sont susceptibles de se déliter par l'action lente de l'air.

Le gypse présente précisément cette propriété. Il suffira toutefois d'en mettre la surface à l'abri de l'air par un revêtement qui peut n'avoir pas une épaisseur considérable.

On trouvera plus loin quelques détails sur les tunnels qui assurent l'alimentation de l'usine hydro-électrique du lac de Chalain.

Enfin, on établit parfois le canal en aqueduc sur des arches lorsqu'on doit franchir un ravin.

D. — OUVRAGE DE GARDE

414. — L'ouvrage de garde auquel aboutit le canal d'amenée est un bassin ou chambré d'eau formant une réserve où se produit une dernière décantation et, pour ce motif, il est bon de la munir d'une vanne de décharge donnant sur un canal de fuite. Cette chambre d'eau possède aussi un déversoir.

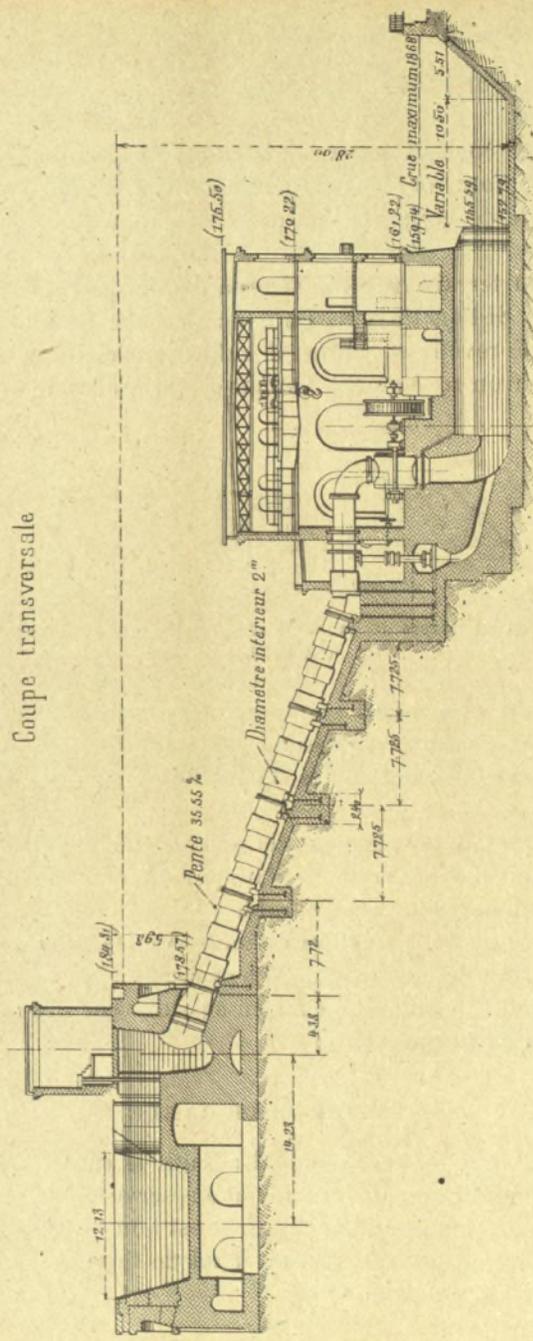


Fig. 185. — Prise d'eau et conduites forcées, usine d'Andelsbuch (Tyrol).

C'est dans le mur limitant l'ouvrage de garde en regardant l'usine que s'amorcent les conduites forcées.

La traversée du mur peut se faire par un dispositif analogue à celui de la figure 149.

On en retrouvera un type semblable dans la figure 194.

Des grilles protègent les orifices des conduites forcées qui sont munies de vannes. Le tout a une grande analogie avec le dispositif de prise directe que nous avons indiqué plus haut.

La figure ci-contre en donne d'ailleurs un bon exemple.

E. — CONDUITES FORCÉES

415. — Nous avons indiqué que, dans le cas des barrages de grande hauteur, le site peut permettre une dénivellation rapide et par suite d'établir l'usine dans le ravin, immédiatement au pied du barrage.

La prise se fait alors directement à travers le barrage; la conduite s'y amorce par un tronc de cône et descend directement à l'usine; mais, dans la plupart des cas, cette amorce se fait dans le mur qui limite le bassin de garde dont il vient d'être parlé.

La figure 183 offre un exemple du premier système; elle se rapporte aux conduites de l'usine d'Andelsbuch, dans le Tyrol.

Les figures 186 et 187 montrent les détails d'une conduite forcée complètement enterrée, à l'usine de Svøelgfos (Norvège).

416. **Tuyaux en fonte.** — Les conduites sont des tuyaux cylindriques construits en fonte, en tôle ou en béton armé.

L'emploi de la fonte est limité à des diamètres inférieurs à 1,30 m. et sous de faibles pressions. Ces conduites sont d'ailleurs toujours coûteuses et cassantes, ce qui oblige parfois à les frotter.

Jusqu'à 10 m. de pression, et pour les petits diamètres, on pourra se servir de béton ordinaire en ciment, mais aussitôt qu'il s'agit de plus fortes pressions, on doit recourir, soit au ciment armé, soit à la tôle d'acier.

417. **Tuyaux en ciment armé.** — Les tuyaux en ciment armé ont été employés pour des conduites atteignant 3,50 m. de diamètre et des pressions de 40 m., mais le béton est toujours poreux dans une

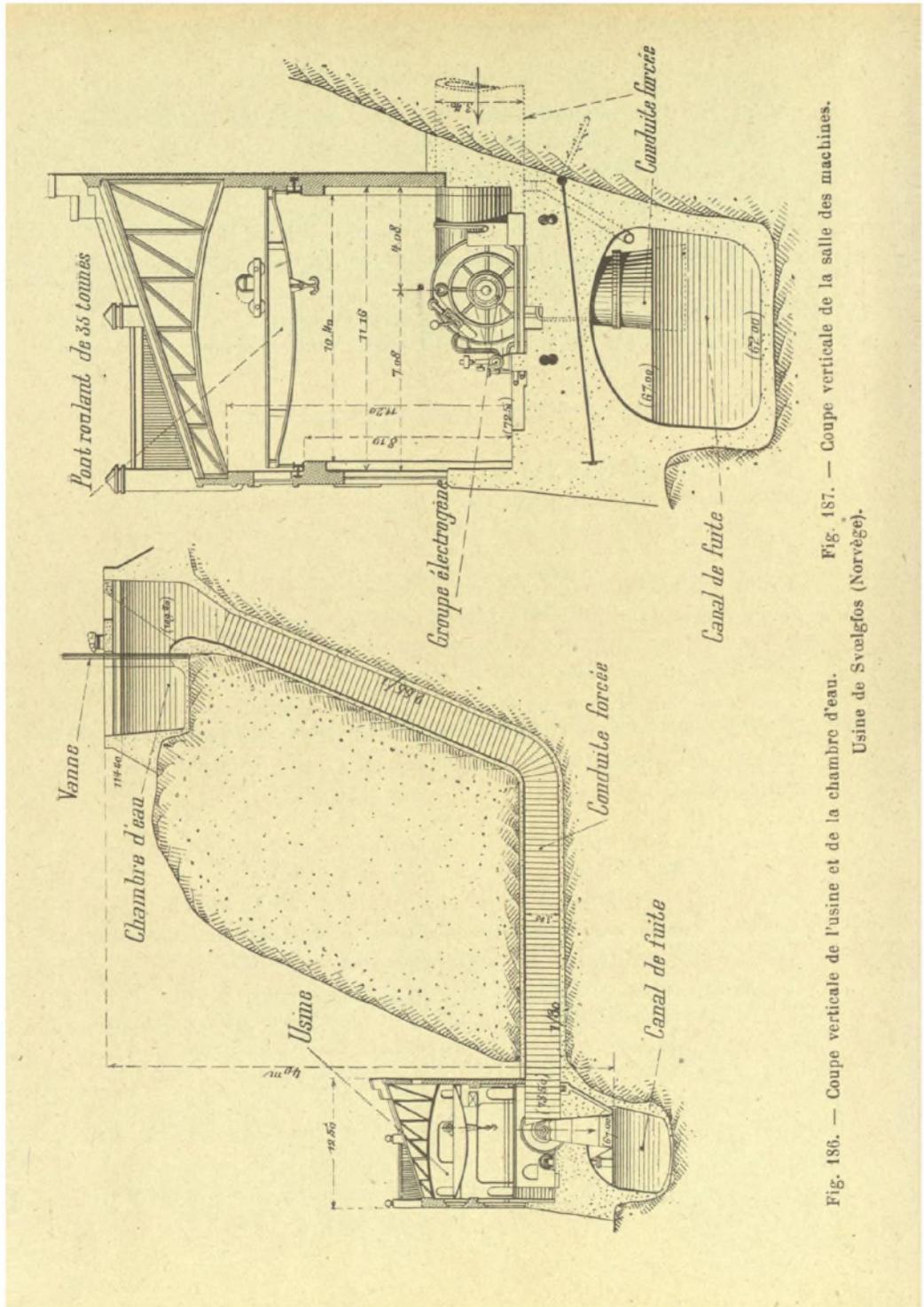


Fig. 186. — Coupe verticale de l'usine et de la chambre d'eau. Usine de Svølgfos (Norvège).
 Fig. 187. — Coupe verticale de la salle des machines. Usine de Svølgfos (Norvège).

certaine mesure, et il est difficile de réaliser une étanchéité suffisante lorsque l'on dépasse 20 à 25 m. de hauteur.

Au-dessous de 1,50 m. de diamètre, on exécute généralement les tuyaux en ciment armé par tronçon de 2,50 m. à 3 m. de longueur, dans des chantiers à proximité du lieu d'emploi, assez longtemps d'avance pour que la prise soit complète au moment de la mise en place.

La pose s'exécute en tranchée et les joints sont faits au moyen de bagues de 0,20 m. de largeur environ, qui sont également en béton armé.

Au delà de 1,50 m. de diamètre, les tronçons deviendraient peu maniables et il est préférable de confectionner la conduite directement en place dans les tranchées destinées à les recevoir.

418. Tuyaux en tôle d'acier. — On a tout intérêt à employer des tuyaux en tôle d'acier, aussitôt que la pression atteint ou dépasse 30 m.

On a pu établir sans difficulté des conduites de 3,30 m. de diamètre; d'autres, de 0,80 m. de diamètre, résistent à des pressions de

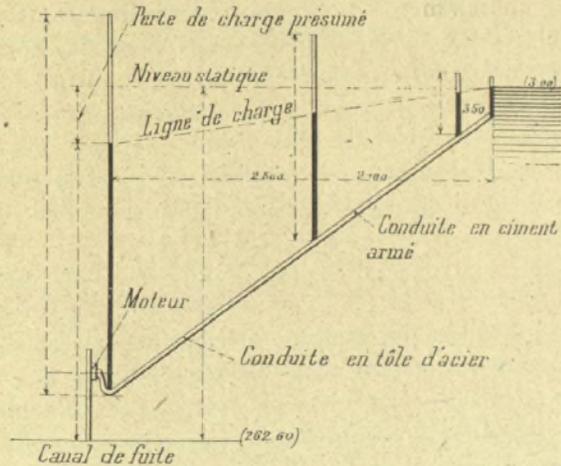


Fig. 188. — Profil schématique de la conduite forcée de Champ.

700 m., et l'on voit qu'en définitive la tôle répond à tous les besoins qui peuvent se présenter.

On peut enfin, dans la même installation, employer à la fois des conduites en béton armé pour toute la partie où la pression est inférieure à 20 m. et des tuyaux en tôle pour les pressions plus élevées. On en trouve un exemple à l'usine de Champ, sur le Drac, dont la figure 188 donne un profil schématique.

419. Calcul de l'épaisseur de tôle. — Soit un tuyau de rayon r en mètres, sous une charge d'eau de hauteur h ; la pression par mètre carré est $p = 1\,000 h$. L'effort qui tend à rompre le cylindre suivant la génératrice et par mètre de longueur est :

$$T = pr = 1\,000 hr.$$

Si l'on désigne par R la charge de sécurité de l'acier par millimètre carré, l'épaisseur étant ε en millimètres et la section sur 1 m. de long étant $1\,000 \varepsilon$ en millimètres carrés, on pourra écrire :

$$1\,000 hr = 1\,000 \varepsilon R$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{hr}{R}.$$

On prend généralement $R = 8$ kg. par millimètre carré. Cette formule permet donc de déterminer l'épaisseur des tôles; cette épaisseur va en croissant de la prise à l'arrivée, puisque la hauteur d'eau va en croissant.

Les feuilles de tôle ayant des dimensions limitées, on en constituera des viroles de longueur déterminée, avec des joints le long des génératrices de raccord des tôles, où l'on placera deux lignes de rivets.

Les viroles successives sont réunies, emboîtées et rivées.

420. Pente. — Les conduites en tôle ne sont pas mises en tranchée comme les tuyaux en ciment armé, mais posées sur une série de petits massifs en maçonnerie que l'on doit ancrer solidement dans le sol, pour empêcher l'entraînement. La pente générale est, en effet, très raide. A l'usine de la Vis, par exemple, la hauteur de la chute est de 95,26 m. pour une longueur de 151 m. en projection horizontale, soit une pente de 60 p. 100.

La canalisation tend donc à descendre sous l'action de la pesanteur.

L'effort longitudinal qui en résulte est considérable, et il convient de le combattre, d'abord par les attaches scellées sur les blocs dont nous venons de parler, et ensuite par des butées en maçonnerie; en particulier lorsque la conduite fait un coude.

421. Perte de charge. — A l'état statique, lorsque les turbines sont arrêtées, la charge indiquée au manomètre de l'usine est exactement mesurée par la différence de niveau totale entre la chambre de charge et le débouché inférieur du tuyau, c'est-à-dire que dans un tube piézométrique l'eau monterait jusqu'au niveau de la chambre de charge (fig. 188).

Mais aussitôt que les vannes sont ouvertes, et que l'eau s'est mise en mouvement, les frottements et la vitesse elle-même déterminent une perte de charge d'autant plus forte que le diamètre est plus faible.

Il importe donc de prendre un diamètre suffisant pour que la perte de charge ne dépasse pas 5 à 10 p. 100 de la hauteur de chute.

Le niveau piézométrique au débouché s'abaisserait ainsi d'une certaine hauteur, et la ligne de charge s'inclinerait.

C'est aussi cette ligne de charge qui limiterait l'ascension de l'eau dans tous les tubes piézométriques que l'on pourrait placer sur la conduite.

422. Cheminées d'équilibre. — Ce qui précède fera comprendre comment interviennent les cheminées d'équilibre destinées à amortir les coups de bélier qui se produisent à la suite des changements brusques de débit dans la canalisation ou par l'arrêt de la vanne inférieure. Le choc a pour résultat de faire monter l'eau dans la cheminée où s'éteint la force vive acquise; l'eau dépasse le niveau piézométrique qui correspond au nouveau régime d'arrêt ou d'écoulement (fig. 185) et y revient après quelques oscillations.

Pour être efficace, la cheminée doit avoir un diamètre assez fort, afin d'emmagasiner une grande quantité d'eau déplacée. Elle se termine à sa partie supérieure par un réservoir de grande largeur où l'eau s'étale, et d'où elle s'écoule par un tuyau extérieur qui la mène au canal de fuite.

A l'usine de Champ, sur le Drac, où la conduite a 3,30 m. de diamètre et 4 600 m. de longueur totale, on a disposé quatre cheminées dont les hauteurs totales sont de 3 m., 6 m., 30 m. et 37 m., dépas-

sant notablement, comme on le voit figure 188, le niveau statique lui-même. Le diamètre de la plus haute est de 2 m. à la base, et elle porte à son sommet une cuve de 3 m. de diamètre où l'eau peut s'étaler. C'est un peu le même système que l'on voit sur la figure 185 où la cheminée représentée se trouve à faible distance des têtes des conduites, ce qui a permis de lui donner une hauteur assez réduite de 8,93 m. ; elle présente une *revanche* de 0,50 m. au-dessus du niveau de charge, pour tenir compte des oscillations, au moment des coups de bélier.

423. *Ventouses*. — Les *ventouses* sont destinées à l'évacuation de l'air qui est toujours entraîné en certaines quantités et qui s'accumule dans les coudes convexes, de manière à gêner l'écoulement normal. Il peut également en rentrer accidentellement, par suite notamment des remous à la prise.

On détermine cette évacuation au moyen de tubulures de petit diamètre, munies d'un robinet que l'on fait fonctionner de temps en temps.

Ces accumulations d'air ne sont nuisibles que si elles sont considérables. En petites quantités, l'air, au contraire, forme matelas, et, grâce à son élasticité, absorbe le choc des coups de bélier.

424. *Reniflards*. — Les *reniflards* sont, comme les cheminées d'équilibre, des équilibreurs de pression. Ce sont des tuyaux de petit diamètre, s'élevant au niveau piézométrique, et destinés à permettre les rentrées d'air dans la conduite quand celle-ci se vide trop rapidement, par exemple pendant la mise en vidange. Faute d'un dispositif de ce genre, il se produirait une dépression dans l'intérieur de la conduite, qui pourrait s'ovaliser sous la pression atmosphérique s'exerçant sur sa paroi extérieure.

425. *Collecteurs*. — Les diverses conduites qui constituent la canalisation débouchent généralement par leur extrémité inférieure dans un *collecteur* général, de diamètre convenable et qui, desservant à la fois toutes les turbines, joue le rôle d'un régulateur.

Il permet, en outre, de continuer à alimenter tout le système, dans le cas même où l'une des conduites serait momentanément indisponible.

C'est de ce collecteur que partent les diverses buses d'alimentation des turbines.

§ 3. — ORGANISATION D'ENSEMBLE

426. Exemples d'installation. — a) Pour grouper les différents éléments que nous venons d'étudier et en donner une idée d'ensemble, il suffit d'en montrer l'application à quelques exemples.

A cet égard, l'installation de l'*usine de Vizzola* est assez schématique pour être instructive.

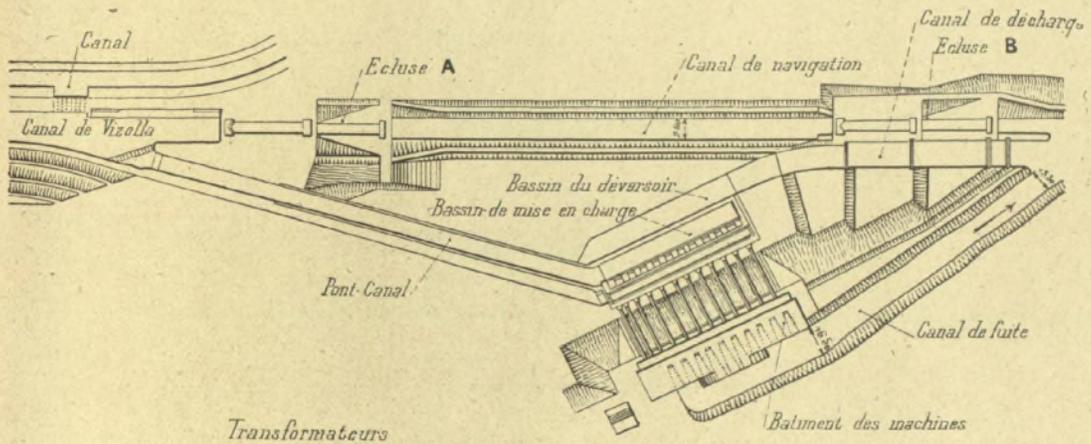


Fig. 189. — Plan d'ensemble de l'usine de Vizzola.

Cette usine utilise les eaux d'un canal de navigation situé le long d'une crête où deux écluses successives procurent une chute d'une hauteur assez considérable.

En amont de la première écluse, on a pratiqué la prise d'eau et un pont-canal (fig. 190) amène l'eau jusqu'au bassin de mise en charge, dont le déversoir évacue le trop-plein dans un canal de décharge retournant au bief d'aval du canal de navigation.

Les conduites forcées sont au nombre de 12, alimentant autant de turbines de l'usine inférieure, avant le départ de l'eau usée dans le canal de fuite.

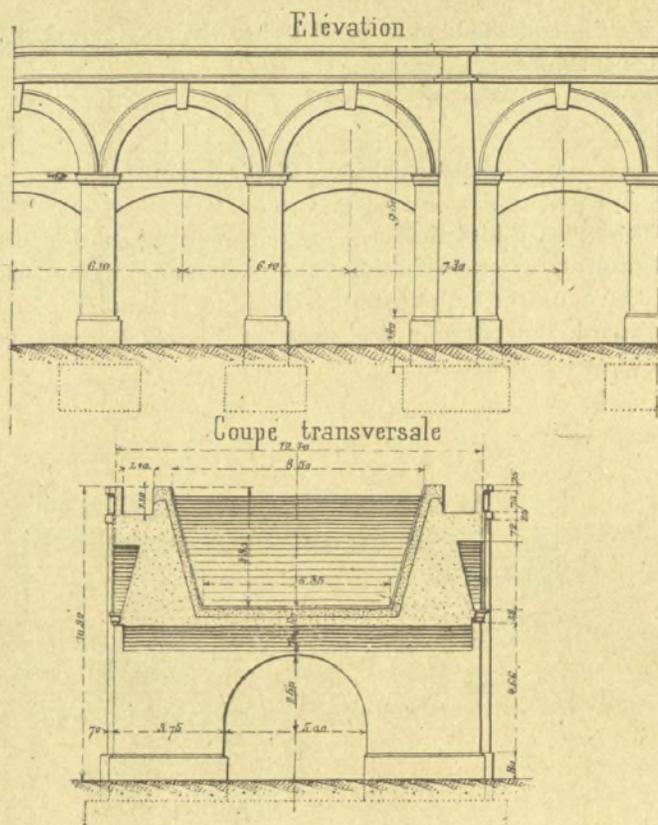


Fig. 190. — Pont-canal de Vizzola.

427. Organisation hydraulique de l'usine hydro-électrique du lac de Chalain⁽¹⁾. — La description qui va suivre permettra d'étudier la succession des organes composant une installation très importante.

L'usine dont il s'agit emprunte sa force motrice aux eaux du lac de Chalain situé sur un plateau qui offre, avec le lit voisin de la rivière l'Ain, une dénivellation de 21,50 m. à 32,50 m. suivant les variations du niveau du lac dont la cote normale est 500.

La prise a été placée à la cote 488,50, ce qui permet d'utiliser pratiquement le volume d'eau emmagasiné au-dessus de cette cote.

(1) *L'Ingénieur Constructeur*, 15 janvier 1914.

On dispose donc d'une hauteur d'eau de 10 m. environ, et, si l'on compte que la superficie du lac est de 232 hectares, on dispose ainsi d'un volume de 20 millions de m³.

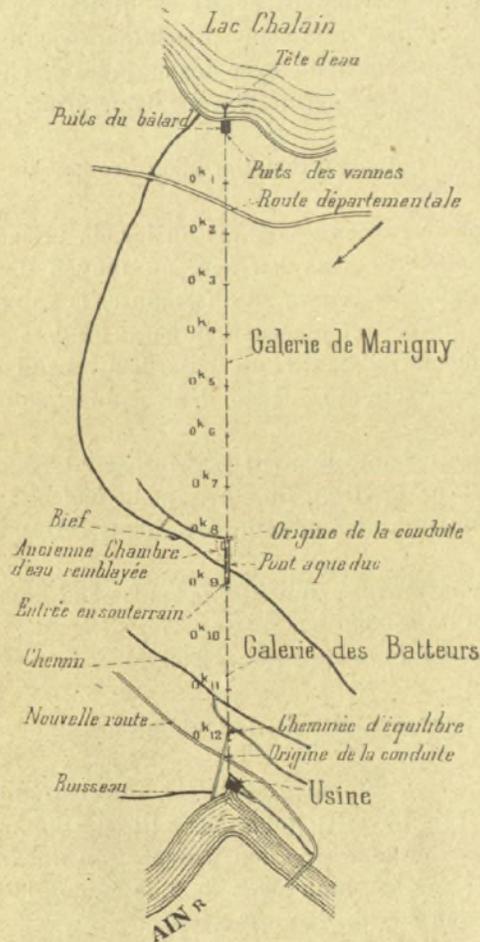


Fig. 101. — Plan des installations du lac de Chalain.

En outre, l'alimentation naturelle du lac assure un débit à peu près équivalent qui, antérieurement, s'écoulait vers l'Ain par un ruisseau.

En résumé, on dispose d'un débit d'environ 23 m³ par seconde.

Toutefois, l'installation n'est pas prévue pour son utilisation complète. L'usine, en effet, est destinée à secourir celle du Saint-Mortier, située à 60 km. en aval, sur l'Ain; elle ne fonctionne qu'aux heures de pointes journalières et aux époques de pénurie d'eau dans la rivière; on voit que cette usine présente un régime d'exploitation essentiellement intermittent, avec des périodes de chômage complet quand les crues d'hiver permettent à l'usine principale de satisfaire à elle seule aux besoins.

On s'est donc contenté d'installer deux groupes de 1 500 chevaux.

428. *Prise et dérivation.* — Dans un lac, la prise peut être pratiquée directement et sans barrage, au moyen d'un puits établi à quelques distance de la rive, et où s'amorce la galerie.

Deux autres puits sont placés sur la berge au-dessus de la galerie; le premier permet d'établir un batardeau; celui d'aval sert de chambre de manœuvre et renferme deux vannes-papillon de 2,60 m. dont une de sûreté.

Ces puits débouchent ainsi sur la galerie souterraine qu'un court tronçon de 250 m. environ, franchissant le bief de l'Œuf (ruisseau qui sert d'exutoire au lac et se déverse dans l'Ain), divisé en deux sections.

1° La *galerie de Marigny*, qui sort du lac, a une longueur de 820 m., avec une pente de 0,0009 par mètre.

2° La *galerie des Batteurs* mesure 265 m. à la pente de 0,00615 par mètre.

Sur tout ce parcours, il a été fait un large usage du béton armé.

429. — La *galerie Marigny* avait été antérieurement construite en maçonnerie, elle devait fonctionner à libre écoulement, et aurait mal supporté la nouvelle pression prévue : on dut la doubler par un anneau intérieur en béton armé de 2,38 m. de diamètre et 8 cm. d'épaisseur bloqué par du béton maigre.

430. — *Dans la traversée du bief de l'Œuf*, le tuyau est soutenu par des piliers traversant un massif de remblai sur une partie de son parcours, et franchissant sur un pont-aqueduc le ruisseau lui-même, sur 11 m. d'ouverture oblique.

Pour cette traversée, le tuyau est placé dans un coffrage rectan-

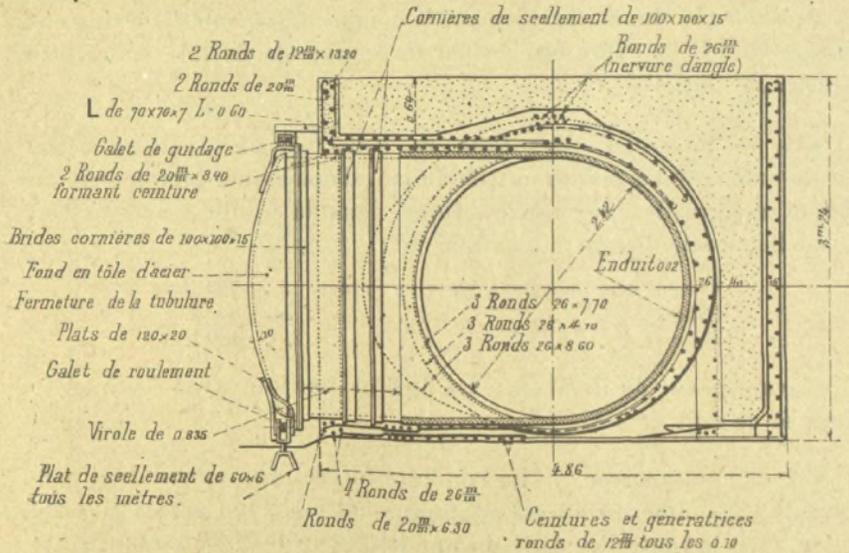


Fig. 197. — Conduite à la traversée du bief de l'OEuf. Coupe ef.

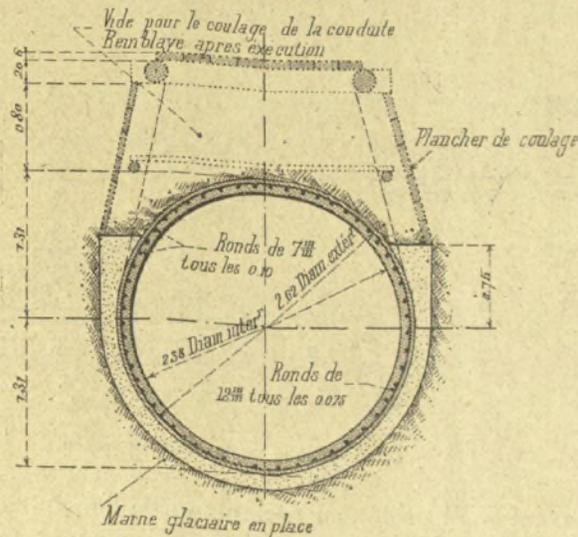


Fig. 198. — Galerie des Batteurs.

gulaire en béton armé formant poutre de support, et l'intervalle est rempli de gravier, de manière à le mettre à l'abri de la gelée.

Après avoir franchi le ruisseau, la conduite présente latéralement une tubulure de visite fermée par un couvercle de tôle en calotte sphérique (fig. 197).

431. — La *Galerie des Batteurs*, enfin, est un tuyau en béton armé analogue au précédent, de 12 cm. d'épaisseur, bloqué par du béton maigre de chaux hydraulique dans la fouille en tranchée.

Le béton a le dosage suivant par m³ :

Ciment demi-lent de la Porte de France. . .	600 kg.
Sable.	800 l.
Gravier.	400 l.

L'avancement du moulage a été de 6 m. par jour avec équipes de jour et de nuit.

432. Conduite forcée. — La conduite forcée proprement dite, partant du débouché du tunnel et aboutissant à l'usine sur la rive de l'Ain, est à la pente de 0,4181 sur une longueur de 3641m. et présente un diamètre de 2 m. Elle s'appuie à sa base sur un solide massif

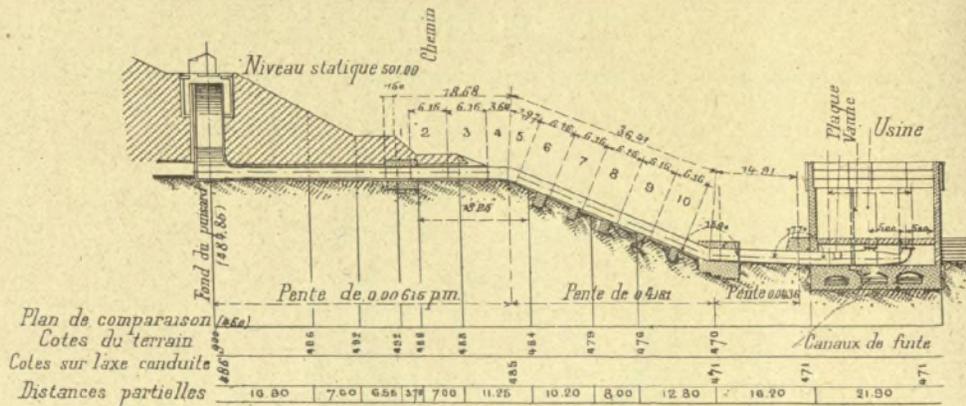


Fig. 199. — Profil en long de la conduite forcée.

d'ancrage avant de se prolonger par une partie horizontale jusqu'au sous-sol de l'usine. Elle porte à son extrémité une tubulure de vidange fermée par une vanne, qui permet de verser de l'eau dans la rivière aux époques de sécheresse, alors même que les turbines sont arrêtées.

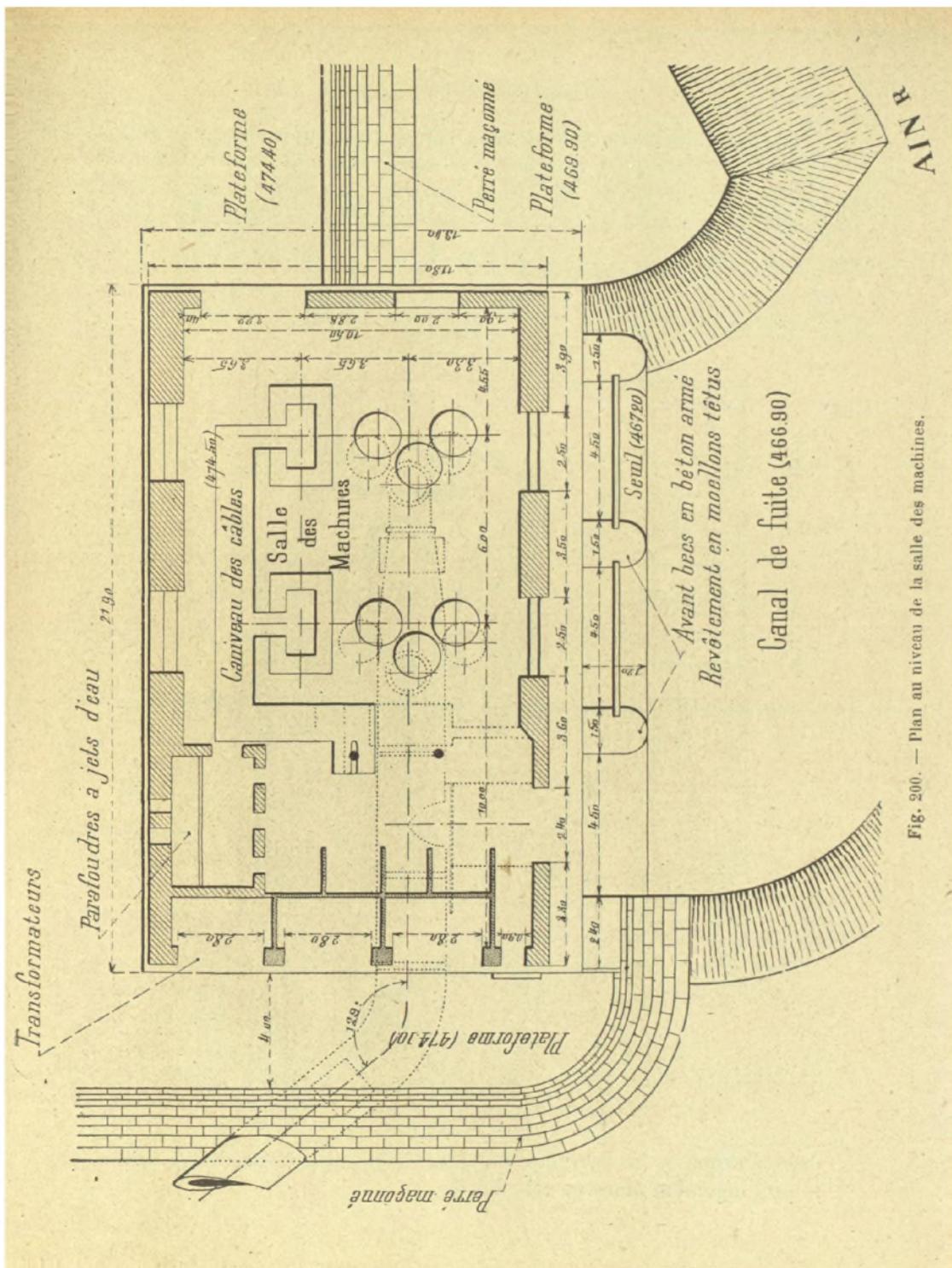


Fig. 200. — Plan au niveau de la salle des machines.

433. Cheminée d'équilibre. — En amont de la conduite forcée, on a construit une cheminée d'équilibre presque entièrement creusée dans le versant du coteau. Elle mesure 5,50 m. de diamètre et porte à son sommet un château-d'eau de 9,14 m. de diamètre, le tout en

Coupe sur l'axe du premier groupe.

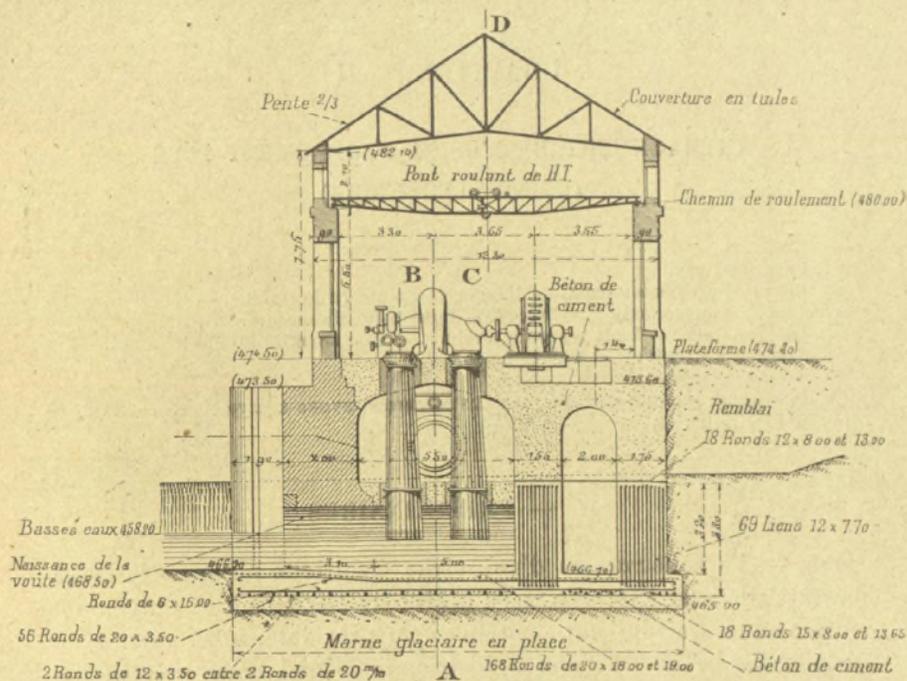


Fig. 202. — Coupe sur l'axe du premier groupe.

béton armé. Son bord de trop-plein est à la cote 501, tandis que le fond du puisard sur la galerie des Batteurs est à la cote 484,85, soit une hauteur d'environ 16 m.

434. Usine. — Les figures permettent enfin de se rendre compte de l'organisation de l'usine, sans qu'il soit nécessaire d'y insister.

CHAPITRE XVII

AMÉNAGEMENT DE L'USINE PROPREMENT DITE (USINE ÉLECTRIQUE)

- § 1. PRÉLIMINAIRES.
- § 2. RÉGIME DE CONSOMMATION. — Heures de pointe et de résidus. — Cas d'un réservoir volant de consommation. — Nécessité d'une usine de secours.
- § 3. DES TURBINES. — Deux types de turbines. — Nombre d'unités électrogènes.
- § 4. SALLE DES MACHINES, chambres d'eau.
- § 5. SALLES ET INSTALLATIONS DIVERSES.
- § 6. QUELQUES INDICATIONS SUR LES ENTREPRISES HYDRO-ÉLECTRIQUES. — Prix de l'énergie électrique.

§ 1. — PRÉLIMINAIRES

435. — La construction d'une usine électrique nécessite la collaboration de deux spécialistes : l'ingénieur-électricien et l'ingénieur constructeur, qui doivent s'entendre au préalable, le premier pour signaler les besoins de son industrie, le second pour y satisfaire.

Il est bien évident d'ailleurs que le même ingénieur peut réunir les compétences nécessaires dans les deux branches, et c'est pourquoi il sera toujours fort utile, pour un ingénieur-électricien, de connaître la construction d'une manière aussi complète que possible.

Les études préalables ayant fixé la puissance disponible, au lieu d'exprimer cette puissance en chevaux-vapeur, il devient de plus en plus de pratique courante de prendre pour unité le kilowatt, cette unité empruntée à l'électricité elle-même.

On sait d'ailleurs que le cheval-vapeur vaut 0,736 kilowatts, ce qui permet de passer facilement d'une unité à l'autre.

On aura donc ainsi le nombre de chevaux-vapeur ou le nombre de kilowatts que la chute peut fournir sur l'arbre des turbines, ce qui permettra d'arrêter le nombre des groupes électrogènes et le type de turbine qui convient à la fois au régime de la chute et aux appareils qu'elles doivent mouvoir.

On peut dès lors fixer l'agencement des groupes électrogènes, leur encombrement et leur groupement.

§ 2. — RÉGIME DE CONSOMMATION

436. — Une chute donne une puissance P par son débit régulier en vingt-quatre heures. La consommation est, au contraire, irrégulière.

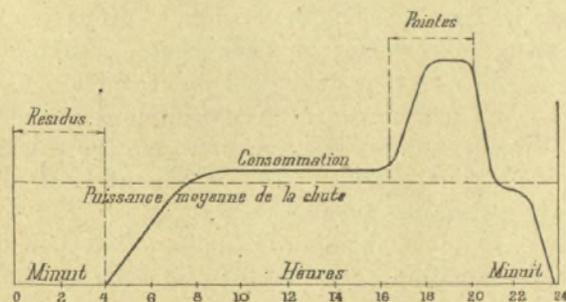


Fig. 203. — Diagramme de puissance et de consommation.

Dans la journée, elle est absorbée par les exploitations de la force motrice, et la nuit, elle correspond aux services d'éclairage. Elle est donc maximum lorsque les deux sources de consommation sont simultanées, entre la tombée du jour et la fermeture des ateliers.

C'est ce qu'on appelle les *heures de pointe*. Elle est nulle au contraire pendant une partie de la nuit, et la puissance disponible alors — mais inutilisée — constitue les *résidus*.

Le diagramme que nous donnons indique la marche générale de la consommation; mais pratiquement on devra tenir compte d'une chute très considérable de midi à une heure, correspondant au déjeuner.

437. Cas d'un réservoir. — On conçoit que, si le barrage permet d'emmagasiner l'eau pendant l'accalmie, pour la dépenser aux heures de grande consommation, on pourra développer à ce moment une puissance bien supérieure à la puissance moyenne de la chute.

En dressant le diagramme de la consommation, il suffira que l'aire de la courbe soit égale à l'aire du rectangle qui représente la puissance totale fournie par la chute en vingt-quatre heures.

Les turbines, calculées sur les heures de pointe, ont alors une puissance supérieure à la puissance moyenne, ce qui est jusqu'à un certain point avantageux, les machines fatiguant moins quand elles ne travaillent pas à pleine charge.

Les heures de résidus sont consacrées à faire monter l'eau dans le réservoir supérieur.

438. Nécessité d'une machine de secours. — Nous venons de voir que, s'il existe un réservoir où l'eau peut s'accumuler, la force hydraulique suffit à tout, se dépensant au gré de la consommation.

Il suffit que les modifications du niveau supérieur ne soient pas excessives. On peut estimer ainsi que, pour une chute de 100 m., des dénivellations de 3 m., soit 3 p. 100, n'influent pas d'une manière sensible sur le régime des turbines.

Mais il est des circonstances où l'installation est dépourvue de ce volant de consommation. C'est ce qui se présente pour un barrage en rivière, où il est le plus souvent impossible de surélever le niveau pour ne pas noyer les berges d'amont; si, d'autre part, on augmentait le débit aux heures de pointe, ce qui aurait pour effet d'abaisser le niveau, cette dénivellation serait très sensible par rapport à la faible chute et affecterait le rendement des turbines.

Dans ces conditions, la puissance des turbines ne doit pas dépasser notablement la puissance moyenne, et, aux heures de grande consommation, il devient nécessaire d'avoir une *usine de secours*, constituée par des moteurs à vapeur.

Il est un autre cas où ces machines de secours s'imposent, c'est lorsque le régime du cours d'eau fait prévoir des périodes de sécheresse, ou lorsque les crues forcent à ouvrir toutes les vannes.

Nous disons d'autre part comment seront installées les usines thermiques.

§ 3. — DES TURBINES

439. Régime des turbines. — Nous serons très bref en ce qui concerne les appareils générateurs d'énergie. Le type de turbine le plus avantageux varie d'ailleurs suivant la nature de la chute :

a) *grand débit, petite hauteur*; ou b) *petit débit, grande hauteur*.

Il y a lieu de se préoccuper, en outre, des variations de hauteur que peut subir la chute suivant les circonstances.

C'est ainsi qu'à la Tuilière, sur la Dordogne, alors que le maximum de la retenue est de 12 m., le régime variable de la rivière fait passer cette hauteur de chute par toutes les valeurs en dessous de cette cote, jusqu'à zéro; on est dans ce cas forcé d'adopter, dans le choix de la turbine, un genre d'appareils qui puisse marcher sous de grandes différences de pression et, à la Tuilière notamment, on a pu utiliser ainsi les turbines entre 6 et 12 m., mais 6 m. est alors une limite inférieure, et la marche est arrêtée quand on a moins de 6 m. de hauteur de charge.

440. Deux types de turbines. — Il nous suffira de rappeler qu'il existe, répondant aux conditions diverses du problème, deux types généraux de turbines :

a) *Type à axe vertical*, noyé dans la chambre d'eau inférieure, s'accommodant des grands débits et des faibles hauteurs de chute, pouvant aller jusqu'à 30 m. cependant;

b) *Type à axe horizontal*, à injection centrifuge partielle, approprié aux hautes chutes.

Ce qu'il importe de remarquer, parce que l'organisation de la chambre des machines en dépend, c'est que les turbines à axe horizontal s'installent dans la chambre des machines elle-même, leur arbre en prolongement de celui des dynamos qu'elles actionnent.

Nous insisterons également sur un détail de construction des turbines à axe vertical en ce qui concerne leur pivot inférieur dans sa crapaudine. En raison du poids considérable de l'appareil, l'organe de support serait soumis à une usure très rapide. Il convient donc de l'équiper hydrauliquement. Le bout de l'arbre forme comme le piston-plongeur d'une presse hydraulique dont la crapaudine proprement dite constitue le pot ou cylindre.

Au repos, l'extrémité de l'arbre porte sur le fond. Lorsqu'on veut mettre la turbine en rotation, on commence par refouler dans le cylindre de l'eau sous une pression suffisante pour soulever la turbine. L'arbre ne tourne plus en frottant sous forte charge sur le fond de la crapaudine, mais sur le milieu liquide.

441. Nombre d'unités électrogènes. — Lorsqu'il s'agit de réaliser une grande puissance totale, on ne saurait se contenter d'un seul groupe électrogène, d'abord parce qu'il aurait des dimensions considérables et souvent même irréalisables, ensuite parce que l'exploitation au moyen d'un certain nombre d'unités moyennes est plus souple, qu'elle s'adapte mieux à toutes les circonstances, et qu'elle permet de parer aux accidents qui peuvent survenir à l'un quelconque de ces groupes.

L'unité que l'on admet d'ordinaire va de 1 000 à 3 000 chevaux-vapeur.

§ 4. — SALLE DES MACHINES

442. — Il sera bon de prévoir un agrandissement éventuel de l'usine, par un allongement du bâtiment et l'adjonction de nouveaux groupes de machines. Parfois même, le bâtiment est dès l'abord construit dans cette prévision, en ménageant, dans la chambre d'eau, l'emplacement des buses d'alimentation pour les turbines, qu'il n'y aura plus qu'à apporter et mettre en place ainsi que les alternateurs.

Quoi qu'il en soit, c'est par la salle des machines qu'il faut commencer la distribution, parce que c'est la partie essentielle de l'ouvrage et parce que l'organisation de la chambre à eau du sous-sol s'ensuivra.

443. Les groupes électrogènes comprenant chacun un alternateur et la turbine qui le met en mouvement sont, comme nous l'avons vu, verticaux ou horizontaux ; on les dispose côte à côte et parallèlement, au moindre encombrement possible, mais de manière cependant qu'on puisse circuler facilement et sans danger. Il y aura donc un passage entre la machine et le mur le plus rapproché et l'on ménagera à la queue du socle une allée assez large pour assurer le service et les mouvements du personnel.

Cette disposition par groupes parallèles s'impose si l'on veut pouvoir manutentionner les diverses pièces de la machinerie, qui sont très lourdes, au moyen d'un pont roulant.

444. — La largeur dans œuvre du bâtiment est déterminée par la longueur du groupe électrogène et les largeurs d'allées libres. Les murs de face devront être construits de manière à ménager, en outre, à hauteur convenable (6 à 8 m. environ) un chemin de roulement pour le pont roulant. Le mur devant avoir, au-dessus et en retraite de ce chemin de roulement, une épaisseur de 0,50 m. ou au minimum de 0,45 m. s'il s'agit de maçonnerie de moellons ou de briques, on voit que, dans sa partie inférieure, la maçonnerie présentera une épaisseur d'environ 0,80 à 0,90 m.. si l'on adopte un mur d'épaisseur uniforme, ce qui a l'avantage de donner à la construction une masse capable d'éteindre les vibrations et de résister aux ébranlements produits par la circulation du pont roulant.

Toutefois, on allège le plus souvent la maçonnerie en se contentant de donner au mur une épaisseur de 0,50 m. ou même de 0,22 m. et en le renforçant simplement dans l'axe de chaque trumeau, à l'aplomb des fermes de charpente, au moyen de piliers-contreforts intérieurs, de 1 m. à 1,20 m. de largeur, réunis à leur partie supérieure par des arcs surbaissés qui rétablissent la continuité nécessaire à l'appui des rails de roulement, ou simplement par des poutres métalliques.

La hauteur libre entre le pont roulant et le sol est d'environ 6 m.; il faut au moins 1,50 m. à 1,80 m. entre le pont roulant et les entrants de ferme, ce qui détermine suffisamment la hauteur totale de la chambre.

445. Charpente et couverture. — Généralement, la charpente est en fer, la couverture en tuile ou en ardoise; mais pour mettre la chambre à l'abri de l'humidité et des changements de température, il serait bon de placer sous l'ardoise un panneau de ciment armé de 6 cm. d'épaisseur ou un hourdis de liège.

On peut également couvrir en terrasse de ciment volcanique, et c'est peut-être la solution la meilleure; mais en pays de montagne, il faut compter que la neige pourra s'y accumuler sur 1 m. de hauteur, ce qui donne une surcharge éventuelle de 100 kg. environ.

Enfin, au lieu de maçonnerie ordinaire et de charpente métallique, toute l'ossature et la couverture peuvent être réalisées en ciment armé, dans d'excellentes conditions de solidité.

446. — Il est nécessaire d'assurer un bon éclairage sur les deux façades, afin qu'on puisse visiter de près tous les organes de la machinerie. Les châssis vitrés verticaux, dans ce but, descendront assez près du sol (0,50 m. environ pour l'allège) et, de même, on disposera des châssis au-dessus du pont roulant.

447. **Chambre d'eau.** — Les machines doivent reposer sur un massif capable d'amortir les vibrations. Au lieu de constituer le plancher de la salle au moyen d'un simple hourdis en béton armé, qui suffira pour les autres planchers, s'il y en a, il sera bon comme nous avons eu l'occasion de le dire, de couvrir la chambre d'eau inférieure par des voûtes assez épaisses, en plein cintre ou peu surbaissées, dans lesquelles on ménagera simplement le passage des buses d'alimentation et des tiges commandant les vannes.

Il est bon que ce massif soit bien homogène, ce qu'on obtiendra en le constituant en béton de ciment.

Les buses d'évacuation des turbines peuvent aboutir toutes dans un canal de fuite ménagé le long de la chambre d'eau à la sortie, ou déboucher individuellement, par des pertuis, dans un bassin qui se prolonge, en se rétrécissant, par un canal de fuite à forte pente, où l'écoulement puisse se faire rapidement.

§ 5. — SALLES ET INSTALLATIONS DIVERSES

448. — En dehors de la salle principale, l'organisation se complète par l'installation de divers locaux à destination spéciale.

a) Généralement, les *tableaux* à haute et basse tension se trouvent dans un de ces locaux, en communication avec la salle des machines. Quelquefois même, on se contente de les placer sur une estrade surélevée, dans la chambre des machines elle-même.

b) Un soin particulier doit être apporté également à l'installation dans des sortes de box isolés, des *transformateurs* destinés à augmenter la tension du courant. Souvent même, on les place dans des bâtiments distincts (fig. 204).

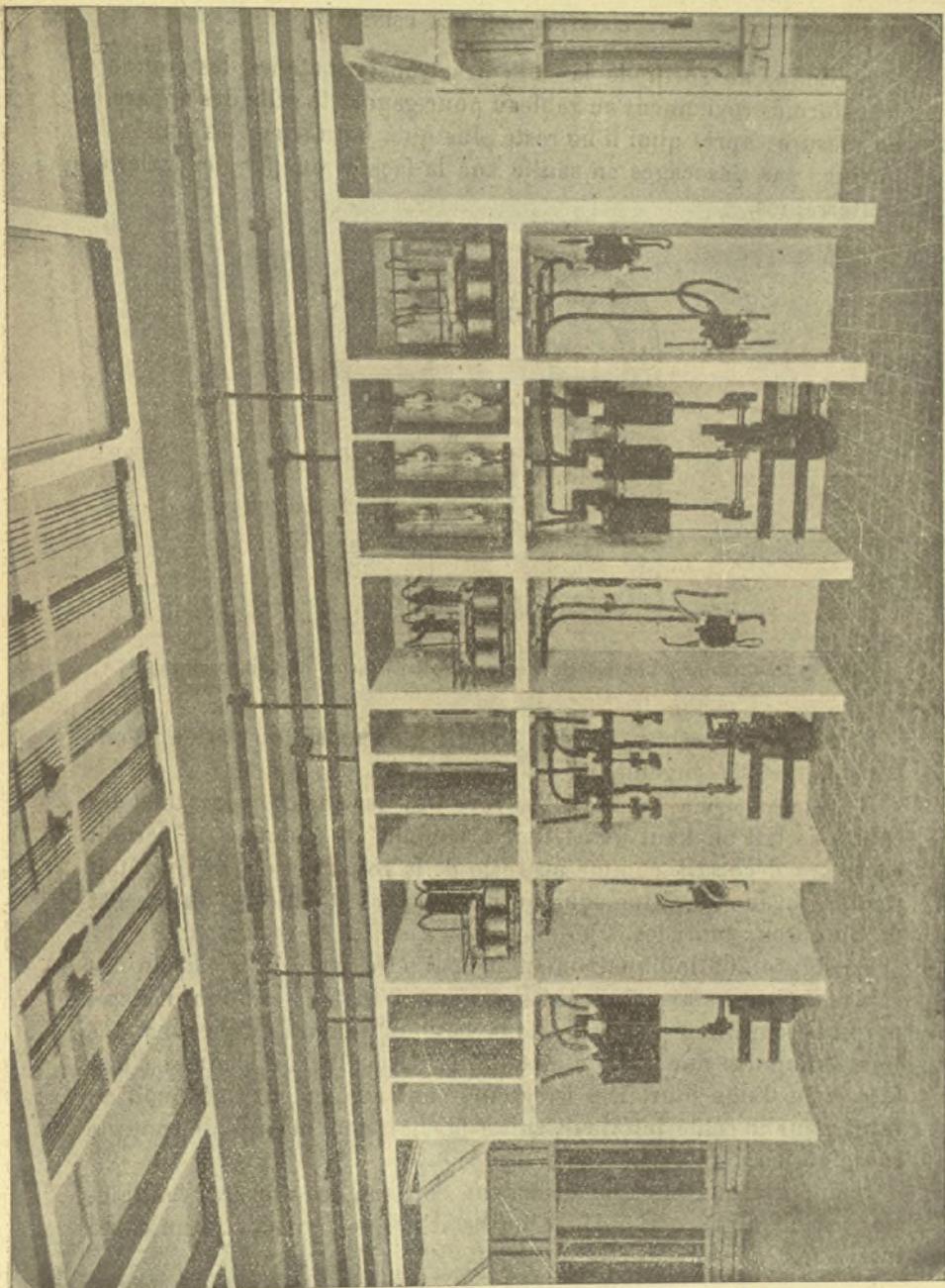


Fig. 204. — Salle d'appareillage à haute tension.

c) Enfin, au sortir de la salle des transformateurs, les courants transformés reviennent au tableau pour gagner la salle des appareils de mesure; après quoi il ne reste plus qu'à faire sortir les câbles de l'usine, par des cages en saillie sur la façade ou par des galeries souterraines.

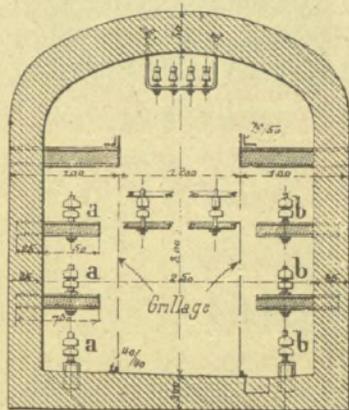


Fig. 205. — Coupe d'une galerie des canalisations (usine de Campocologno).

d) *Sortie des câbles.* — Les détails d'organisation varient d'ailleurs au gré des ingénieurs.

C'est ainsi qu'à l'usine d'Entraygues, le départ pour tous les câbles se fait en haut d'une tour à laquelle on a donné un certain caractère décoratif, comme au reste de la construction, ce qui était justifié par le site pittoresque où cette usine est située et où passent de nombreux touristes.

La figure 206 indique comment peut être réalisée la liaison des câbles intérieurs avec les câbles aériens. L'installation dont il s'agit et qui est empruntée à l'usine de la Tuilière que nous décrivons plus loin, comporte une guérite métallique, en saillie au sommet d'une façade ou d'une tour. Des isolateurs sont solidement fixés, soit au mur, pour le câble intérieur, soit à la charpente métallique, pour le câble aérien.

Il importe que le câble de liaison soit souple, afin que les tractions de la ligne aérienne ne puissent pas se transmettre au câble intérieur.

Les parois de la cage sont garnies de persiennes.

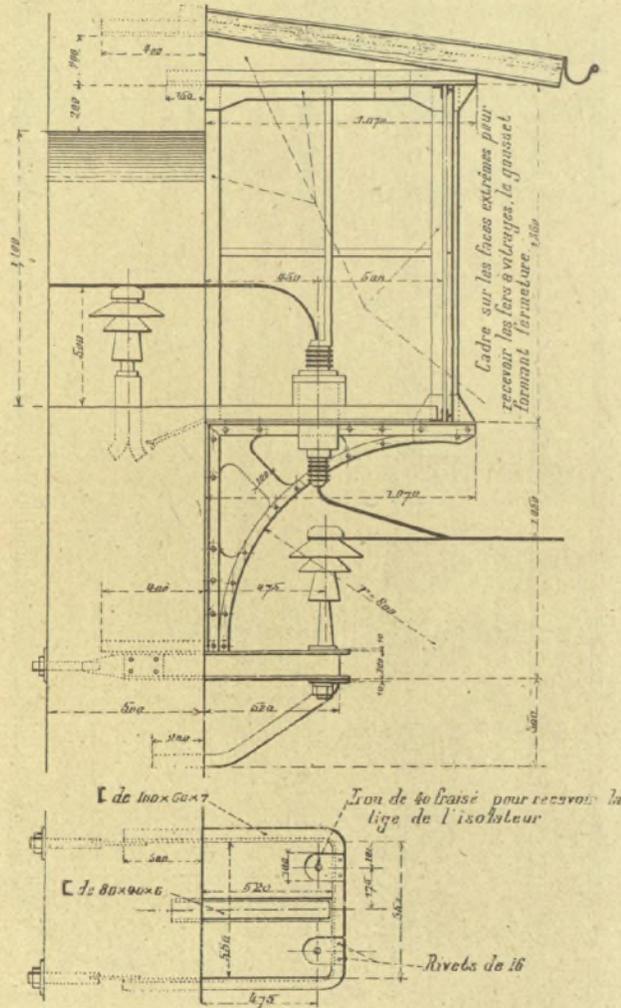


Fig. 206. — Guérite de départ du câble aérien à 50 000 volts (usine de Tuilière).

449. — Enfin, nous donnons les détails de l'installation d'une usine hydro-électrique à Vizzola (Italie), dont il a été déjà question et qui peut servir de commentaires aux indications précédentes.

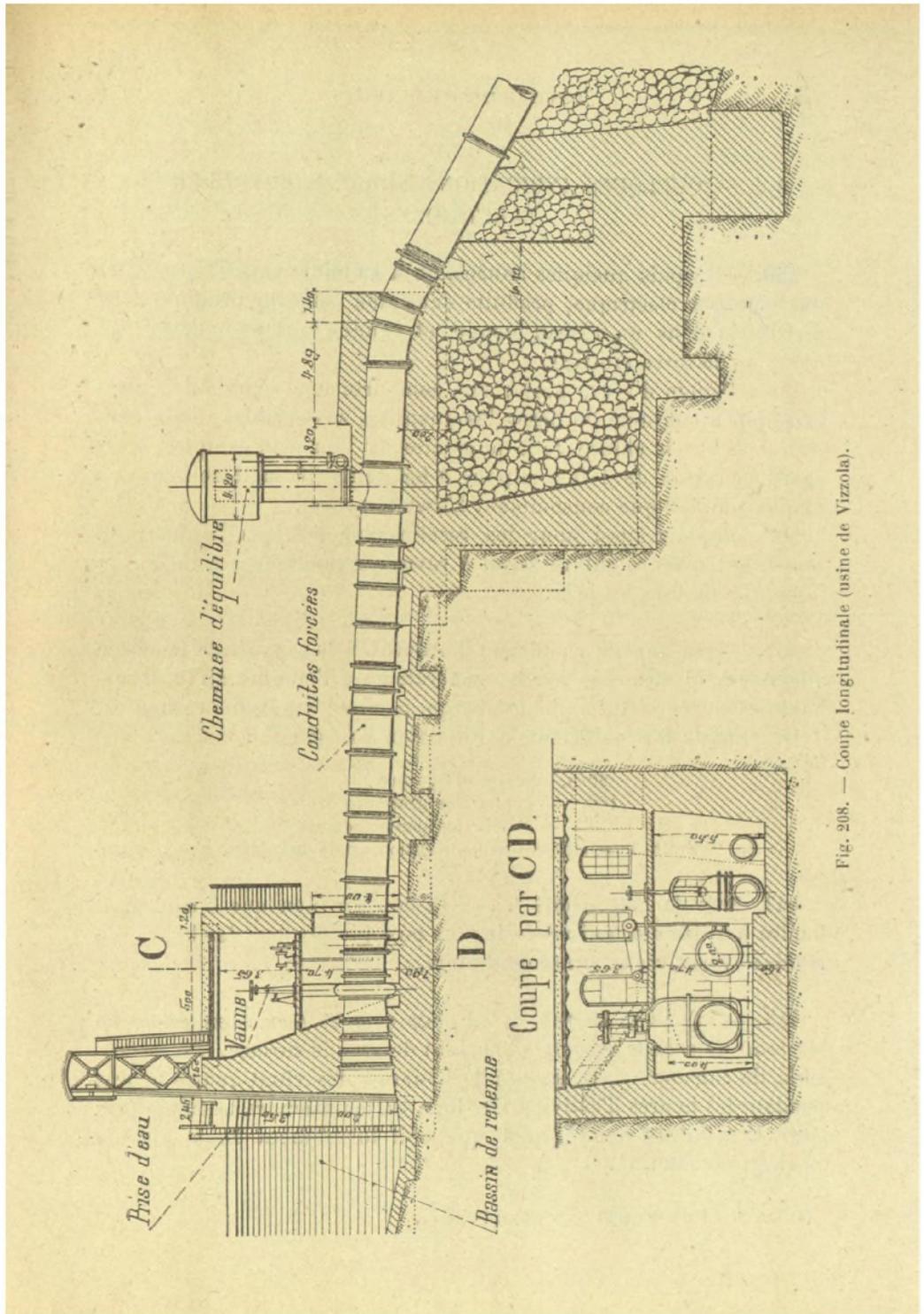


Fig. 208. — Coupe longitudinale (usine de Vizzola).

§ 5. — QUELQUES INDICATIONS SUR LES ENTREPRISES ÉLECTRIQUES

450. — Depuis quelques années, on a établi de vastes entreprises où l'énergie électrique, produite dans une usine hydraulique, est distribuée dans un réseau étendu, et vendue tant pour l'éclairage que pour la force motrice.

Pour l'étude d'avant-projet que comporte une semblable entreprise, on a coutume de baser les quantités susceptibles d'être consommées sur le chiffre de la population et l'on peut compter, à cet égard, à raison de 1 lampe pour 3 habitants (il s'agit de lampes à filament métallique consommant 25 watts-heure).

On comptait aussi pour les recettes sur 5 f. par habitant en moyenne; mais ce chiffre serait à reviser actuellement à raison de la hausse de tous les prix.

451. — On appelle coefficient d'utilisation le rapport de l'énergie effectivement absorbée par les générateurs à l'énergie qu'ils absorberaient en marchant à pleine charge, pendant vingt-quatre heures.

On compte les coefficients d'utilisation à raison de :

50 p. 100	pour l'éclairage;
100 —	pour les gros moteurs;
70 —	pour les petits moteurs.

Enfin, le rendement de distribution est de 30 p. 100.

452. Prix de l'électricité⁽¹⁾. — On conçoit bien que l'usine doit tendre à utiliser sa puissance le plus possible pendant les heures de résidus. Deux cas se présentent alors.

453. — a) Si le barrage a eu pour effet de former en amont un réservoir de grande capacité et surtout de grande surface, il sera possible de consommer la totalité de l'énergie des vingt-quatre heures pendant les heures d'activité. Dès lors, on maintiendra le même prix pour le kilowatt-heure, quel que soit le moment de la journée où il est consommé.

(1) Les prix suivants sont ceux d'avant-guerre.

b) Si, au contraire, l'usine ne possède pas ce volant de consommation qu'est un réservoir, on a intérêt à établir des prix élevés pour la pointe et des prix réduits pour les résidus, afin de solliciter la clientèle à utiliser ceux-ci.

454. — Voici quelques données sur les prix pratiqués avant la guerre dans certaines entreprises :

<i>Usine de la Fure et Morges</i> (au début) :	
Cheval-an continu de 24 h., 150 fr., soit le kilowatt continu . .	0,023 fr.
— 12 h. par jour, 125 fr., — à la pointe.	0,039 fr.
— par heure de kilowatt résidu.	0,008 fr.
<i>Usine de Marseille</i> :	
Kilowatt-heure, à la pointe.	0,036 fr.
— en dehors de la pointe.	0,035 fr.
<i>Société Sud-électrique</i> (élévation d'eau de Nîmes à Camps) :	
Tarif dégressif, kilowatt-heure, continu variable. .	de 0,045 à 0,039 fr.

455. — Le rapport de M. Cordier à la Commission parlementaire indique comme prix maximum 180 à 200 f. le cheval en continu, soit 0,028 à 0,033 f. le kilowatt-heure, applicable aux grosses installations, mais ce prix minimum permet tout juste à une Compagnie de « gagner sa vie ».

Dans le Sud-Est, le tarif le plus réduit est de 175 f. le cheval-an.

On peut donc admettre 0,03 f. à 0,04 f. le kilowatt-heure continu; mais aux heures de pointe, la dépense de charbon (machines de secours), de graissage, etc., fait monter le prix à 0,05 f. ou 0,06 f. D'autre part, pour les résidus inutilisés, on peut, au contraire, abaisser le prix à 0,01 f. et 0,02 f.

CHAPITRE XVIII

MONOGRAPHIE D'UNE USINE HYDRO ET THERMO-ÉLECTRIQUE USINE MIXTE DE TUILIÈRE

- § 1. ORGANISATION GÉNÉRALE. — Programme. — Plan d'ensemble.
- § 2. DÉTAIL DES OUVRAGES. — Déversoir, guideau, barrage.
- § 3. USINE HYDRAULIQUE. — Chambre d'eau. — Chambre des machines.
- § 4. USINE THERMIQUE. — Chaufferie. — Cheminées. — Manutention du charbon. — Reprise des cendres. — Bâtiment des turbines à vapeur.

§ 1. — ORGANISATION GÉNÉRALE

456. Programme sommaire⁽¹⁾. — Établie sur la Dordogne, près de Bergerac, et destinée à la production du courant électrique, l'usine de Tuilière utilise la force hydraulique créée par une retenue de hauteur moyenne; mais, comme il arrive le plus souvent pour les barrages de rivière que l'on est forcé d'ouvrir en temps de crues, on a dû prévoir des interruptions momentanées et établir une usine de secours à vapeur.

La hauteur de chute elle-même varie de 6 à 12 m. avec les saisons, et les turbines hydrauliques ont été construites pour marcher dans ces limites.

La chute donne une puissance moyenne sensiblement supérieure à 13 500 chevaux effectifs; mais elle atteint, à son maximum, une puissance beaucoup plus élevée, et pour l'utiliser, les installations hydrauliques comprennent 9 groupes générateurs à turbines de 2 700 chevaux chacun (soit au total 24 000 chevaux).

(1) Voir la monographie très complète publiée par M. l'ingénieur en chef Claveille dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, mai-juin 1910.

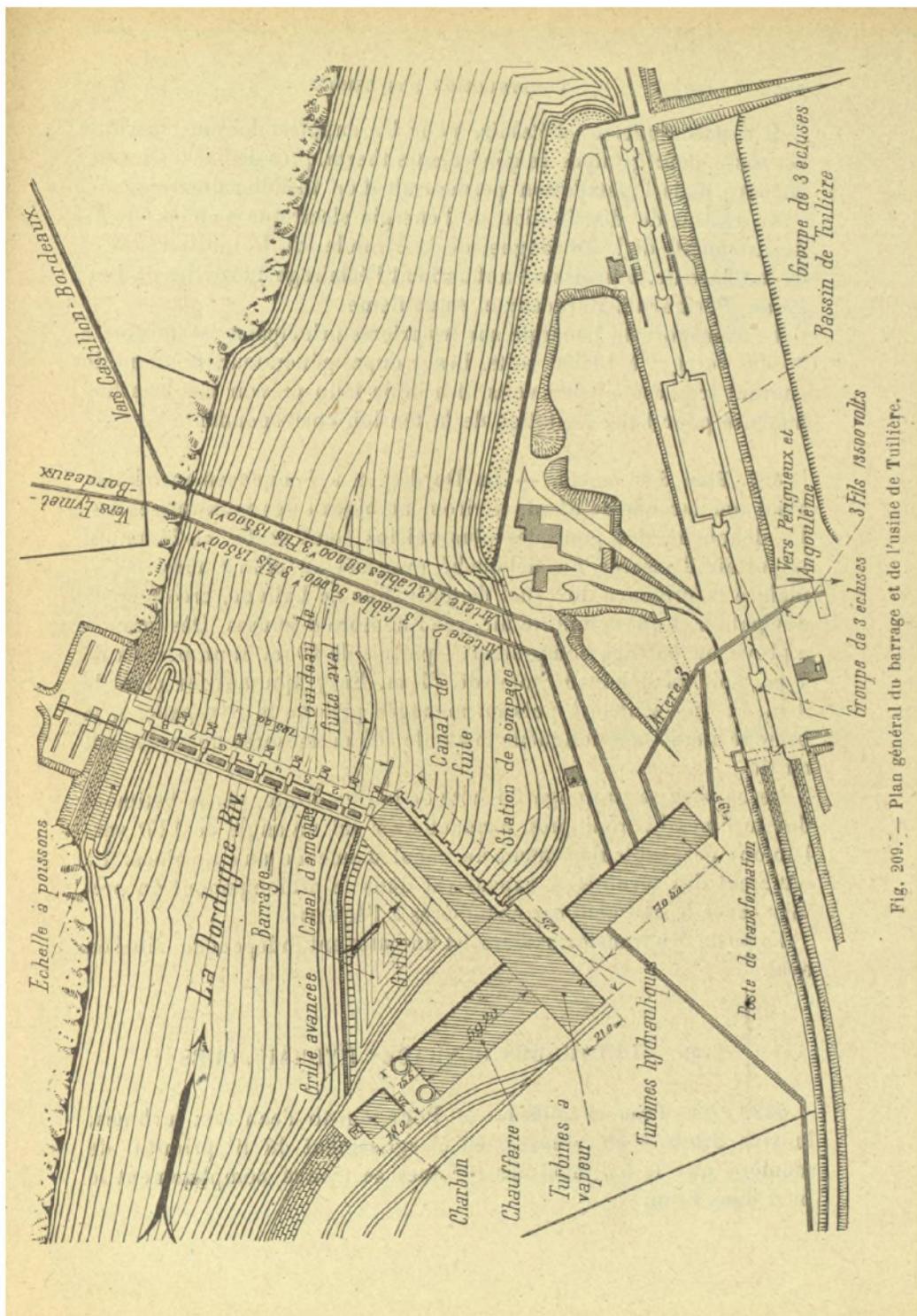


Fig. 209. — Plan général du barrage et de l'usine de Tuilière.

Il a paru suffisant d'établir, pour les suppléer lorsque la chute est basse, deux groupes de générateurs thermiques de 5 000 chevaux chacun; mais l'installation permettrait d'en installer un troisième.

Le réseau de distribution de l'énergie électrique s'étend sur les départements de la Dordogne, de la Gironde, du Lot-et-Garonne et de la Charente, fournissant notamment l'éclairage aux villes de Bergerac, Périgueux, Bordeaux et Angoulême.

Le transport de l'énergie sur les artères principales est effectué à 50 000 volts et à 13 500 volts. Les groupes générateurs donnant du courant triphasé à 5 000 volts, il a donc fallu prévoir des transformateurs pour l'augmentation de la tension correspondante.

457. Plan d'ensemble. — La Dordogne, à l'emplacement choisi, avait une largeur de 84 m. environ, au niveau des eaux moyennes. Le débouché des ponts les plus voisins étant de 60 et 74 m., il importait d'assurer un débouché éventuel au moins aussi large, malgré la présence du canal de dérivation de Lalinde, créé pour la navigation et qui comporte un grand nombre d'écluses. Dès lors, on a prévu un barrage comprenant 7 pertuis de 10 m. et un pertuis de 7 m., soit un débouché total de 77 m. En y ajoutant les piles de 3 m. et une échelle à poisson ménagée près de la rive gauche, le barrage a ainsi une longueur totale de 108 m. mesurée normalement au lit.

Ce barrage se prolonge du côté de la rive droite, par le bâtiment des turbines hydrauliques, formant avec lui un angle de 120° vers l'amont perpendiculairement au canal d'aménée aux turbines. Le bâtiment des turbines à vapeur est dans le prolongement du premier, avec le bâtiment des chaudières à l'équerre.

Le poste des transformateurs est un bâtiment indépendant situé en aval.

§ 2. — DÉTAIL DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

458. Prise d'eau et guideau. — Pour fournir l'eau aux turbines, la rive droite a été creusée, en élargissement du lit primitif, de manière que le bâtiment des turbines se trouve complètement le pied dans l'eau.

Une grille avancée, suivant l'ancienne rive et se rattachant à la pointe du barrage proprement dit, empêche les corps flottants de s'engager dans le canal d'amenée.

A l'aval, un guideau de 35 m. sépare le lit majeur du canal de fuite.

459. Déversoir (fig. 211 et 212). — Enfin, en vue de faciliter le réglage du niveau de la retenue, un déversoir a été établi dans le mur même du canal d'amenée longeant la berge à l'amont de l'usine. Il a pour but de permettre l'écoulement vers l'aval d'une quantité d'eau correspondant au débit absorbé par une turbine à pleine charge, soit 23 m³ environ, sans avoir à manœuvrer les vannes du barrage.

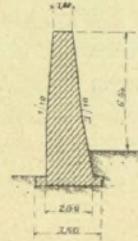


Fig. 210. — Guideau.

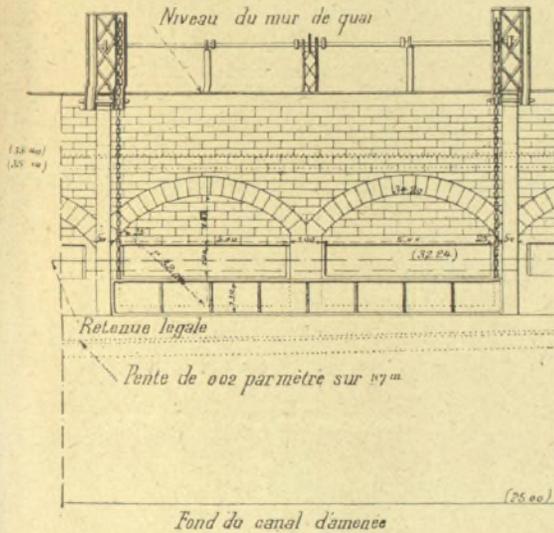


Fig. 211. — Élévation du déversoir.

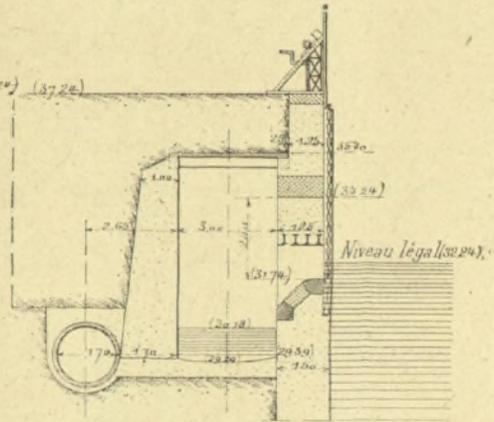
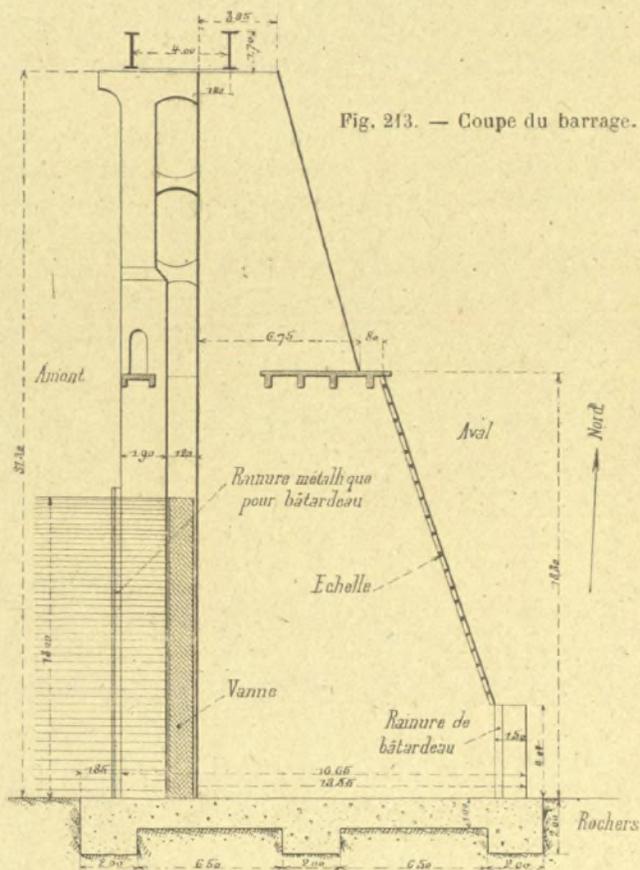


Fig. 212. — Coupe du déversoir en galerie.

Ce déversoir, situé en dessous de la rive, comporte 4 pertuis de 11,50 m. d'ouverture, chaque pertuis étant divisé lui-même en deux travées rectangulaires de 1 m. de hauteur et 5 m. de largeur.

Chaque pertuis est muni d'une vanne en tôle de 1,10 m. de hauteur sur 11 m. de long, manœuvrée par des treuils à main.

L'eau passant au déversoir tombe dans une galerie de 47 m. de longueur et de 3 m. de largeur. Au droit de l'usine hydraulique et dans la partie comprise dans ses fondations, le canal est constitué par une conduite cylindrique en ciment armé, de 3 m. de diamètre (pente de 5 mm. par mètre), qui se raccorde en aval de l'usine avec une chambre de décharge débouchant dans le canal de fuite.



460. Barrage. — Les barrages en rivière doivent être essentiellement mobiles, puisque, comme nous l'avons dit, ils doivent per-

mettre l'évacuation rapide des crues. Toutefois, les systèmes habituels (celui de Poses, sur la Seine, par exemple), ne dépassent pas une hauteur de 5 m. Pour la hauteur prévue de 12 m. au maximum, il a fallu recourir aux vannes glissantes équilibrées, imaginées par l'ingénieur Stoney et qui, appliquées par lui au canal de Manchester, sont devenues d'un usage répandu.

La nécessité de relever les vannes tout entières au-dessus des plus

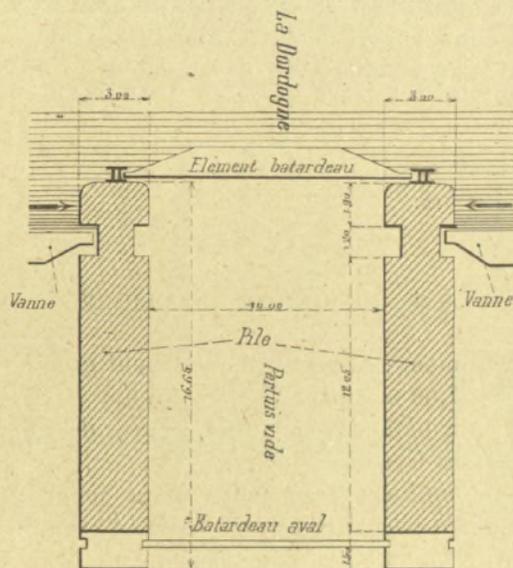


Fig. 214. — Plan d'un pertuis du barrage montrant les pressions reçues par les avant-becs en cas de réparation au pertuis.

hautes crues, en réservant encore au-dessus la hauteur nécessaire aux engins de manœuvre, entraîne pour les piles qui séparent les pertuis, une hauteur considérable qui, dans le cas actuel, n'est pas inférieure à 34,3 m.

L'empattement total à la base est de 16,65 m. Le parement amont est vertical; le parement aval, au contraire, affecte un fruit qui diminue la longueur de pile à mesure que l'on s'élève, avec des retraites successives.

La figure 213 suffit à définir le profil.

En plan (fig. 214) les piles présentent, à 1,90 m. du bec amont, des

rainures de 1,20 m. de largeur et de 0,70 m. de profondeur dans lesquelles glissent les vannes.

Des rainures plus petites, près des parements d'amont et d'aval, permettent d'établir des batardeaux à poutrelles, pour mettre la chambre des vannes à sec en vue des visites et réparations.

Les piles sont réunies entre elles, d'abord au sommet, par un tablier métallique formant passerelle de circulation de 4 m. de largeur, dont les poutres de 1,70 m. de hauteur sont assez fortes pour soutenir les engins de levage des vannes. Deux autres passerelles en béton armé sont établies à 18,30 m. au-dessus du radier; celle d'aval forme une plate-forme de 5,70 m. de largeur et celle d'amont 1,50 m.

Nous ne décrivons pas les vannes et batardeaux, ce qui sortirait du cadre de ce cours.

§ 3. — USINE HYDRAULIQUE

461. — Le bâtiment devant abriter les neuf groupes hydro-électriques mesure $67,50 \times 12$ m. Chaque groupe électrogène occupe toute la largeur du bâtiment sur une longueur de 7,50 m. (parallèlement aux grandes façades).

Les fondations en béton de ciment y correspondent et comprennent par conséquent neuf travées de 7,50 m. d'axe en axe, séparées par des piédroits de 1,50 m. que prolongent des avant-becs au dehors; ces piédroits sont, en outre, entretoisés eux-mêmes à deux niveaux par des voûtes en maçonnerie. Les voûtes inférieures de 1 m. d'épaisseur en plein cintre constituent le plafond des chambres d'eau où se trouvent les turbines. Ces chambres ont 13,50 m. de hauteur sous clef; l'étage qui les surmonte n'a que 3,20 m. de hauteur; il constitue des chambres de service permettant de visiter les pivots des turbines, les tuyauteries d'huile sous pression.

Cet étage de sous-sol est couvert par des voûtes surbaissées de 0,40 m. d'épaisseur, qui supportent à leur tour le plancher de la salle des machines, établi à 17 m. au-dessus de l'étiage et à 2 m. au-dessus des plus hautes crues connues.

Un mur de refend longitudinal de 1,50 m. d'épaisseur limite à 6,50 m. la largeur des chambres d'eau. C'est dans ce mur que

Des fers double T, scellés sur les avant-becs permettent d'installer des batardeaux à poutrelles pour la mise à sec et la visite périodique des turbines.

Enfin, les ouvertures de prise d'eau sont protégées par des grilles inclinées soutenues par des chevalets métalliques.

Les panneaux de grilles ont 9,80 m. \times 0,356 m., ils se composent de fers plats 70 \times 8 mm., laissant entre eux un intervalle de 40 mm. et sont soutenus par neuf cours de pannes horizontales en T. Une passerelle règne tout le long de la grille et sert au nettoyage.

Ce nettoyage est d'ailleurs considérablement réduit par la disposition oblique de la grille avancée de 120 m. de long, qui retient la plupart des corps flottants ou les dirige vers le premier pertuis de 7 m. du barrage dont il suffit de lever périodiquement la vanne pour les évacuer.

La grille avancée est constituée, comme celle des chambres d'eau, par des panneaux de fers plats, mais à l'écartement de 80 mm. Elle est soutenue par des chevalets métalliques, et surmontée d'une passerelle de nettoyage.

462. Chambre haute des machines. — Revenons à l'usine hydraulique dont la chambre haute, ou salle des machines, est close de murs en moellons de 0,80 m. d'épaisseur et de 12,56 m. de hauteur, renforcés au-dessus des piédroits de la fondation par des pilastres de 1,20 m. de largeur et 0,50 m. de saillie, qui supportent les rails des ponts roulants à une hauteur de 8,90 m. par l'intermédiaire d'une poutre composée en double T.

Chaque travée est percée de baies vitrées de 2,80 m. de largeur et 6 m. de hauteur, dont l'appui est à 1,50 m. du plancher. Le pignon, côté du barrage, comporte une verrière demi-circulaire formant imposte au-dessus de deux baies vitrées rectangulaires.

Le bâtiment est couvert en tuiles mécaniques sur fermes anglaises en fer, à trois cours de pannes en treillis et lanterneau, ce dernier garni de châssis vitrés à bascule sur les faces verticales.

§ 4. — USINE THERMIQUE

463. — Aux basses eaux, il n'est possible de faire marcher que deux groupes hydrauliques à raison de 25 m³ d'eau par groupe. L'appoint de puissance nécessaire est donné par les machines à vapeur dont nous avons parlé. Il en est de même lorsqu'en temps de crue les vannes du barrage sont ouvertes en tout ou partie; le niveau d'aval étant relevé, la différence avec l'amont, qui constitue la chute nette, peut être inférieure à 6 m., limite au-dessous de laquelle les turbines hydrauliques ne marchent plus.

L'installation de l'usine thermique est organisée de telle sorte que l'amenée du charbon, le chargement des chaudières, la reprise des cendres se fassent automatiquement, comme nous le verrons tout à l'heure.

Elle comprend :

- 1° Un bâtiment pour les turbines à vapeur constituant le prolongement de l'usine hydraulique;
- 2° La *chaufferie* placée perpendiculairement à la salle des machines;
- 3° Un *silo* pour l'emmagasinement du combustible, placé en amont et dans l'axe de la chaufferie, à une distance de 15,50 m. de celle-ci (voir les planches pour les plans et la coupe).

464. *Chaufferie.* — La chaufferie occupe un bâtiment de 58,50 m. × 27,75 m. divisé en trois nefs longitudinales. Tandis que les chaudières, les économiseurs, la tuyauterie et les machines auxiliaires, occupent les nefs latérales de 8,80 m. de largeur et de 7,50 m. de hauteur sous fermes, la nef centrale de 6,80 m. de largeur et 13,31 m. de hauteur sous entrait, sert d'allée de chauffe. Elle est surmontée, à 6 m. environ, d'une file de trémies en béton armé, formant des pyramides renversées d'où le charbon s'échappe par des goulottes obliques en tôle, pour l'alimentation automatique des 16 chaudières.

Au fond de la chaufferie, le long du mur qui la sépare de la salle des machines à vapeur, une passerelle métallique de 3,30 m. de largeur, établie à 3,50 m. au-dessus du plancher, supporte le collecteur général de vapeur et les différentes vannes de distribution.

L'allée de chauffe est séparée d'une galerie en sous-sol de 4 m. de hauteur environ par un plancher à nervures en béton armé, calculé pour 600 kg. de surcharge par m². Cette galerie contient :

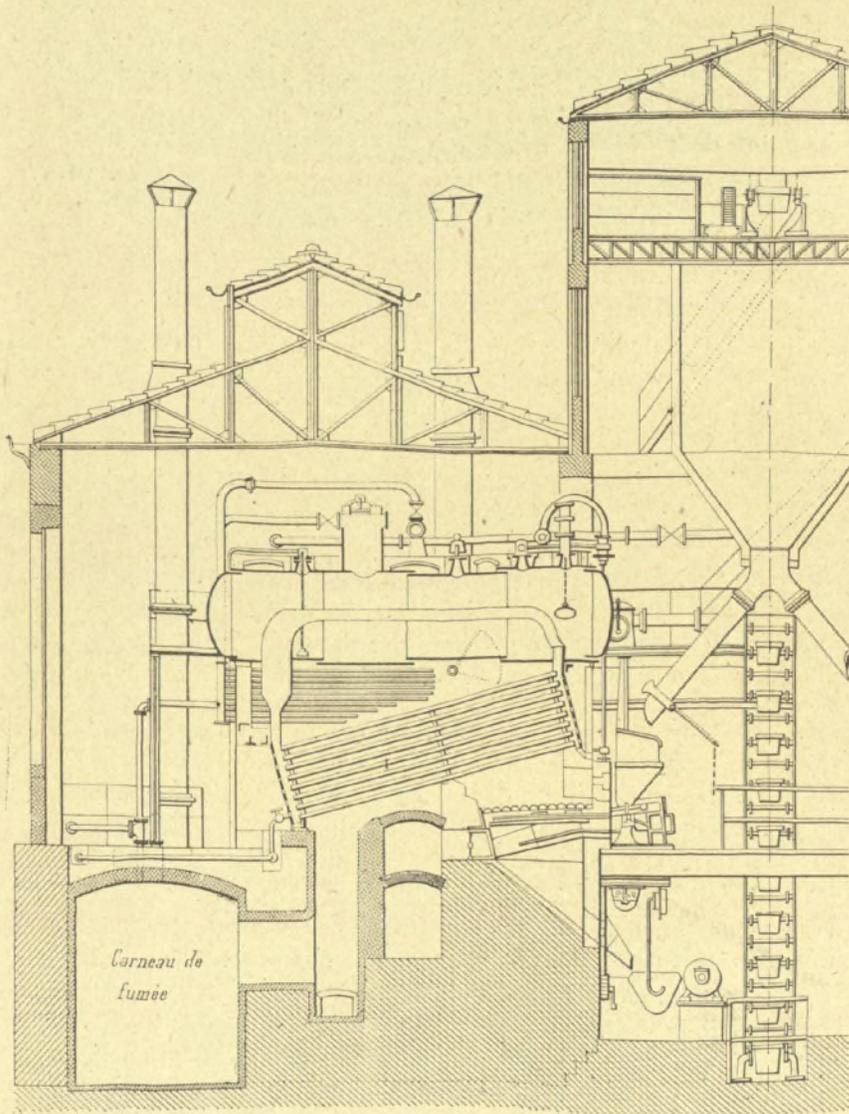


Fig. 216. — Coupe transversale de la chaufferie.

- 1° Le *convoyeur à godets* servant à la distribution du charbon;
- 2° Les *wagonnets* pour la reprise et l'évacuation des cendres;
- 3° La *transmission des foyers automatiques*.

Les poutres principales du plancher, dans le sens longitudinal, sont supportées par des piliers en béton armé entretoisés à différentes hauteurs, et sur lesquels reposent également les fermes de la nef centrale. Les fermes des nefs latérales prennent appui, d'un côté sur les mêmes piliers et de l'autre sur des murs en élévation.

En dessous des chaudières, sont établis en sous-sol les différents carneaux aboutissant au carneau collecteur qui, longeant le mur extérieur, conduit les fumées à l'une des grandes cheminées construites près du pignon de la chaufferie.

465. Cheminées. — Chaque cheminée assure ainsi le tirage d'une batterie de huit chaudières.

Hauteur : 60 m. (au-dessus du sol), soit 20 fois le diamètre au sommet.	
Diamètre au sommet	3 m. (section : 7 m ²).
Épaisseur à la base	1,20 m.
— au sommet	0,22 m.

En service forcé, le volume des gaz de la combustion ne dépasse pas 100 000 m³ par heure dans le carneau collecteur (section 7 × 5,50 m., vitesse 3 m. par seconde); il n'est plus, par suite du refroidissement, que de 77 000 m³ à la sortie de la cheminée (vitesse 3 m.). On voit ainsi que la vitesse de la colonne est constante sur toute la hauteur.

466. Manutention du charbon. — Le charbon est amené à l'usine depuis le port de Bordeaux, soit par voie ferrée, soit par voie navigable.

Pour l'arrivage par voie ferrée, l'usine est reliée à la gare de Saint-Capraise par un embranchement long d'environ 1 200 m.

Le canal navigable passant à proximité de l'usine, le charbon peut être facilement manutentionné au moyen de wagonnets.

De toute façon, les wagons ou wagonnets arrivent devant le silo et sont déchargés dans un transporteur spécial, *table à secousse*, qui amène le combustible dans une grande trémie établie au niveau du sol, à côté du silo à charbon.

La *table à secousse* est une sorte de caniveau en tôle auquel un système de supports articulés imprime un mouvement oscillatoire saccadé, par l'intermédiaire d'une transmission appropriée.

A chaque secousse, le charbon qu'y déchargent les wagons, chemine et, peu à peu, parvient jusqu'à la trémie où il tombe.

Or, la goulotte de la trémie débouche précisément dans la galerie qui, suivant l'axe de l'allée centrale, sous la chaufferie, se prolonge également sous le silo. Cette galerie est parcourue par le convoyeur à godets, et c'est dans ces godets que tombe le charbon.

Le convoyeur, qui est en définitive une chaîne sans fin, remonte alors le long du pignon du silo, suit un chemin horizontal sous la charpente, du silo d'abord, et de la chaufferie ensuite, jusqu'à la paroi qui sépare celle-ci de la salle des machines, et enfin ce convoyeur redescend pour reprendre sa route en sous-sol.

Ce trajet fait ainsi passer les godets successivement au-dessus des trémies de la chaufferie; en sorte que, suivant les besoins, et rien qu'en faisant basculer les godets au point convenable au moyen de hurtoirs, on peut verser le charbon soit dans les unes, soit dans les autres.

Le silo constitue une réserve. Pour se servir du charbon qu'il contient, il suffit d'ouvrir les ventelles inférieures fermant ses trémies qui laissent couler le combustible dans la galerie de sous-sol, c'est-à-dire sur les godets du transporteur.

Toutes les trémies sont en ciment armé.

467. Reprise des cendres (fig. 216). — Les cendriers des chaudières ont leurs parois et fonds inclinés, de sorte qu'il suffit d'ouvrir la porte en fonte à l'aide d'un treuil à manivelle pour que la cendre, par son propre poids, tombe dans un wagonnet monorail circulant sur une voie de roulement suspendue au plancher en ciment armé de la chaufferie.

Ce wagonnet est poussé à bras et déversé dans un remplisseur.

Le convoyeur amène enfin les cendres à l'extérieur et permet de les décharger dans un compartiment spécial en haut du silo.

468. Bâtiment des turbines à vapeur. — Il y a peu à dire en ce qui concerne le bâtiment des machines à vapeur, qui comprend sept travées de 8,25 m. et qui constitue, avec celui des turbines hydrau-

liques, un vaste hall de 127 m. de longueur et de 12 m. de largeur, desservi par deux ponts roulants, respectivement de 25 tonnes et de 8 tonnes.

Le plancher de la salle des machines est au même niveau que celui de l'usine hydraulique; il a été calculé pour une surcharge de 600 kg. par m².

Le bâtiment comporte un sous-sol renfermant les machines auxi-

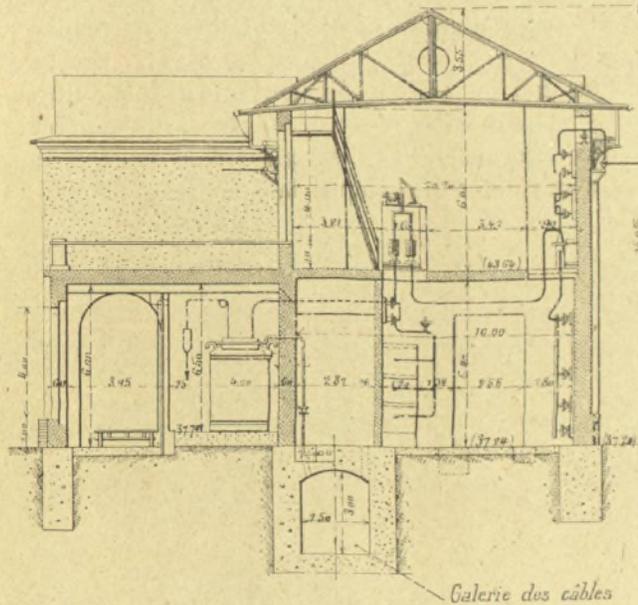


Fig. 217. — Coupe du poste de transformation de Tuilière.

liaires et les pompes de condensation des turbines à vapeur. Des ouvertures pratiquées dans le plancher intermédiaire permettent à la fois d'éclairer le sous-sol et de desservir par les deux ponts roulants les machines qui y sont placées.

Le pignon du bâtiment porte une verrière de 11,75 m. de hauteur et de 8 m. de diamètre, enchâssée dans un pan de fer, où se trouve également comprise la porte principale de l'usine.

La salle des machines sert d'appui, sur sa face opposée aux chaufferies, à une travée annexe de 8,20 m. de large divisée en deux

étages, et contenant les tableaux et tout l'appareillage nécessaire. C'est également du sous-sol de cette annexe que part la galerie qui conduit les câbles aux bâtiments des transformateurs.

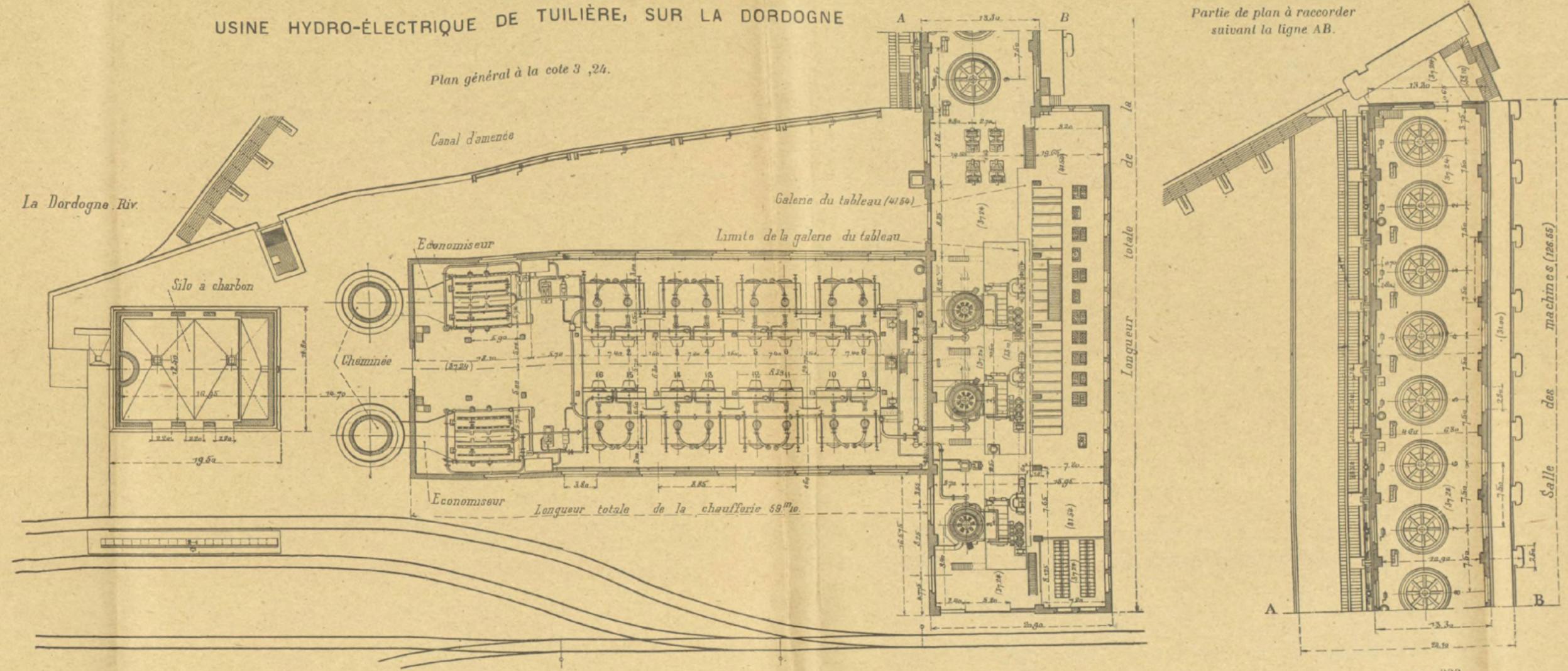
L'annexe a 10 m. de hauteur totale. Elle est couverte en terrasse de ciment volcanique sur plancher de béton armé.

469. **Bâtiment des transformateurs.** — Nous ne donnerons pas de détails spéciaux sur le bâtiment des transformateurs, conformes aux principes généraux et qui ne comportent pas de particularités essentielles.

Les câbles qui en sortent et sont prévus pour du courant à 50 000 volts, remontent en haut des façades, et l'appareil de rattachement aux lignes aériennes est placé dans une guérite saillante dont nous avons donné un croquis dans la figure 206.

USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE DE TUILIÈRE, SUR LA DORDOGNE

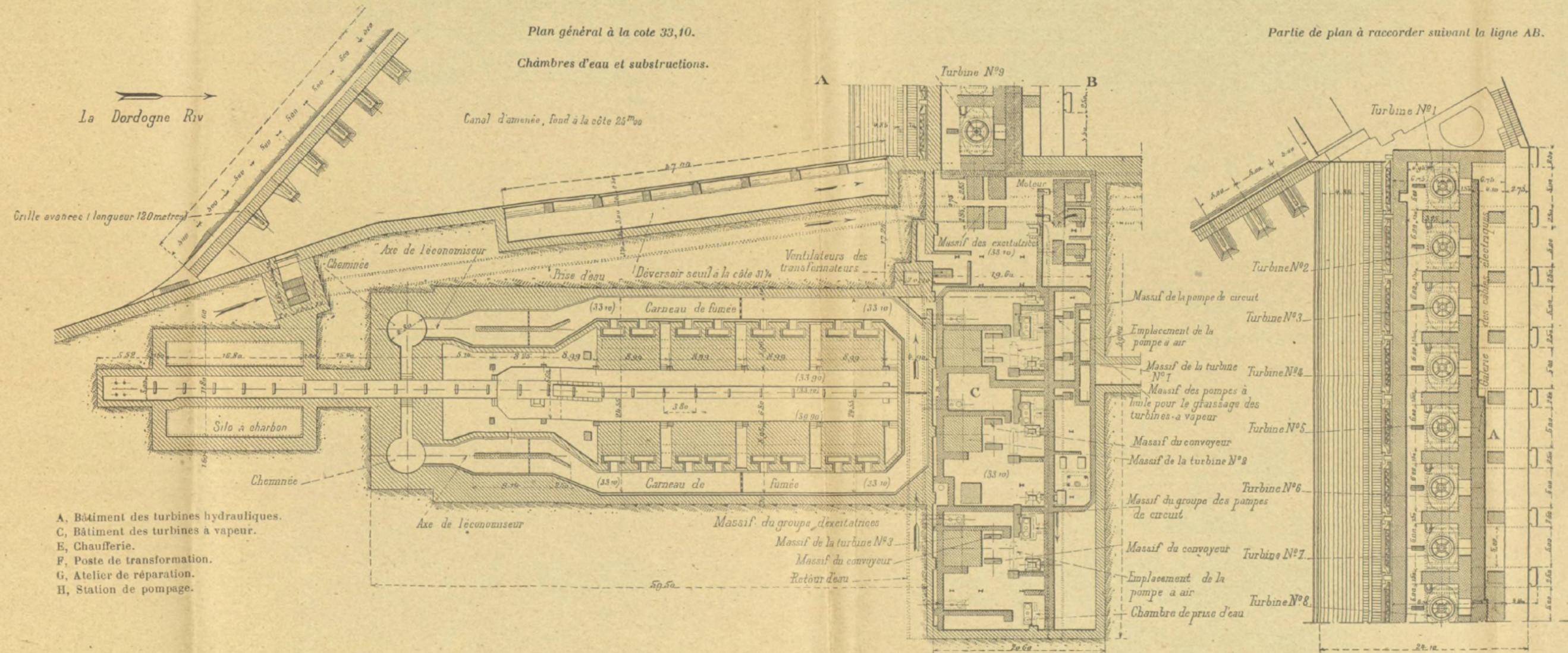
Plan général à la cote 3,24.



USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE DE TUILIÈRE, SUR LA DORDOGNE

Plan général à la cote 33,10.

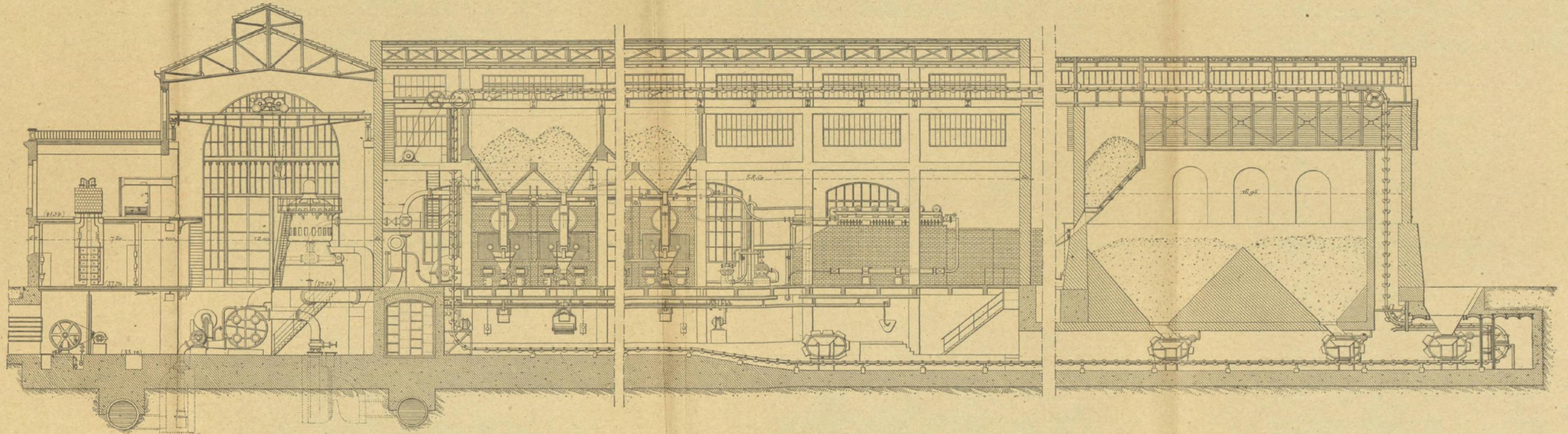
Chambres d'eau et substructions.



- A, Bâtiment des turbines hydrauliques.
- C, Bâtiment des turbines à vapeur.
- E, Chauffage.
- F, Poste de transformation.
- G, Atelier de réparation.
- H, Station de pompage.

USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE DE TUILIÈRE, SUR LA DORDOGNE

Coupe longitudinale de la chaufferie.



CONSTRUCTION DES USINES.

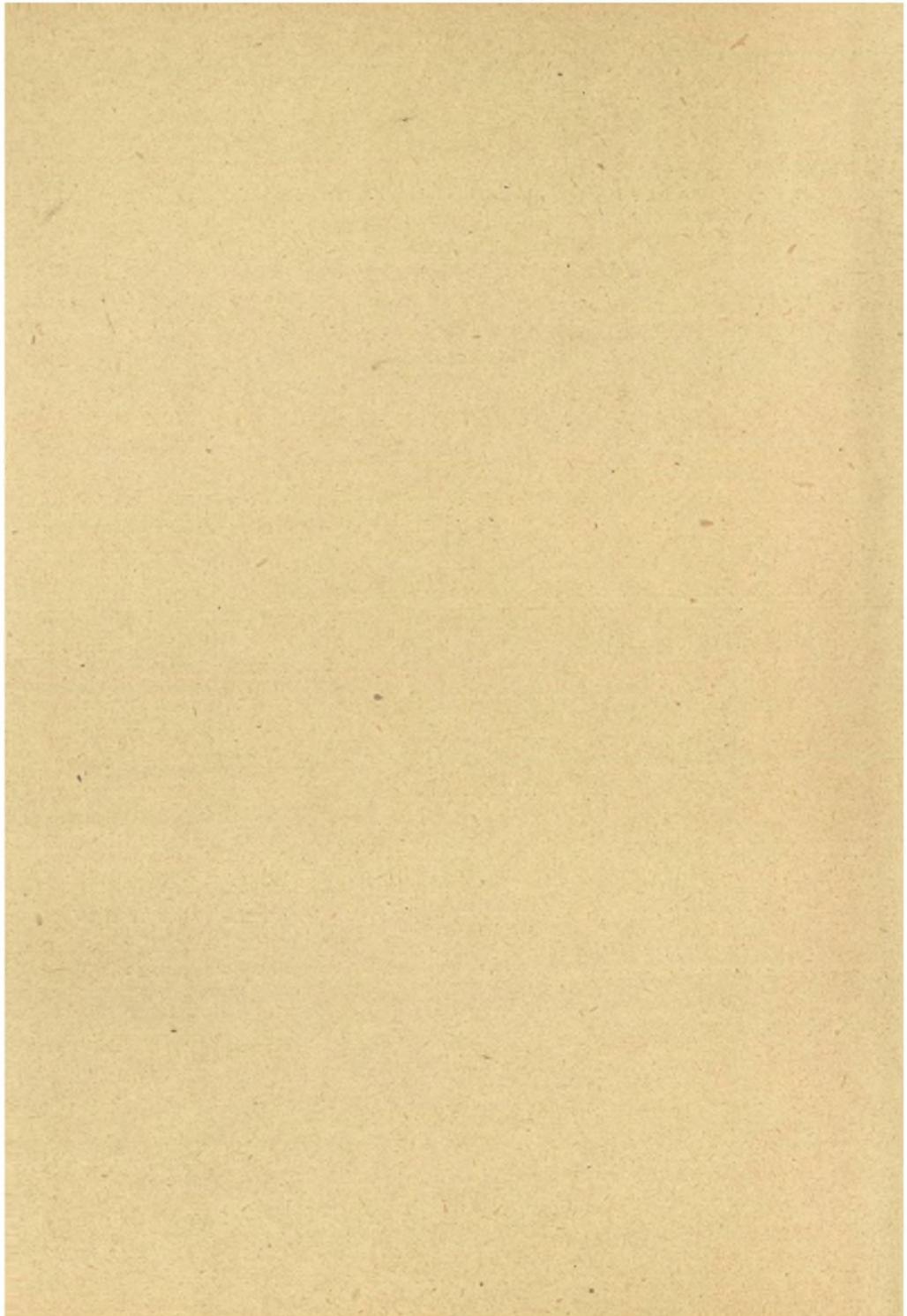


TABLE DES MATIÈRES

TITRE PREMIER

ORGANISATION GÉNÉRALE ET PRÉPARATION D'UN AVANT-PROJET

CHAPITRE I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

	Pages
§ 1. Objet du cours. — Ce qu'il faut entendre par « bâtiments industriels » (1) . . .	1
§ 2. Du programme d'un projet. — Division de cette étude (7). — Programme général et programme particulier (9)	3
§ 3. L'économie, condition primordiale. — Les frais de premier établissement (10). — Il faut en prévoir l'intérêt et l'amortissement (11)	4
§ 4. De la situation géographique d'une usine. — Conditions d'une bonne situation géographique (12) — <i>a</i>) Proximité des matières premières (13). — <i>b</i>) Facile réalisation de la force motrice (14). — Les sources d'énergie (15). — <i>c</i>) Débouchés (19). — Des affinités régionales industrielles (25)	5
§ 5. Les facilités de transport. — Des deux modes principaux de transport (27). — Comparaison des tarifs (30)	12
§ 6. Conditions essentielles d'aménagement d'une usine. — Choix de l'emplacement (32). — Économie de construction (34). — Rapports de la distribution et de l'outillage (38). — Du groupement des machines de même ordre (39)	15

CHAPITRE II. — ÉTUDE D'ENSEMBLE D'UN AVANT-PROJET

§ 1. De l'emplacement. — Examen de l'emplacement (42). — Superficie et configuration (43). — Commodité de l'emplacement choisi (46). — Salubrité. Orientation (47). — Conditions économiques (48)	18
§ 2. De l'organisation du projet de masses. — Règles essentielles (50). — <i>a</i>) Prévision de l'agrandissement éventuel (51). — <i>b</i>) Règle du parcours minimum (52). — <i>c</i>) Règle du rebroussement (54). — Pente générale (55). — Répartition de l'outillage (55 ^{bis}). — α) L'outillage principal (56). — β) L'outillage auxiliaire (57)	21
§ 3. Types généraux schématiques et dispositifs d'ensemble	25
§ 4. Étude définitive. — Unité de conception (65). — Annexes et accessoires (69). — Dossier du projet (70)	29

- § 5. Prescriptions administratives. Hygiène des ateliers. — Prescriptions réglementaires (71). — a) Prescriptions générales (72). — b) Précautions contre l'incendie (73). — c) Chauffage et éclairage (74). — d) Hygiène des ouvriers (75). 38

CHAPITRE III. — EXEMPLES D'AVANT-PROJETS SCHEMATIQUES

- § 1. Ateliers de chemins de fer 35
 § 2. Ateliers de constructions mécaniques. — Moyens de manutention (83) . . . 37
 § 3. Distribution verticale schématique d'une minoterie 41
 § 4. Usine hydro-électrique. — Salle des machines (89). — Chambre des tableaux (91). — Transformateurs (92) 42

TITRE II

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ÉLÉMENTS DE LA CONSTRUCTION

CHAPITRE IV. — DES FONDATIONS

- § 1. Considérations préliminaires. — Examen des procédés constructifs (94). . . 47
 § 2. Fouilles et terrassements. — Déblais rocheux. Roctage (97). — Mise de feu d'une mine (98). — Exécution mécanique des terrassements (99). — Terrassement sous l'eau (100). — Dragages (101). — Fouilles avec épuiement et mise à sec (102). — Encéinte pour fondation sous l'eau (104). — Équarrisages des bois (105). — Batardeaux (106) 48
 § 3. Massifs de fondation. — Fondations en tranchée continue (107). — Semelles et radiers généraux (108). — Fondations sous massifs de machines (109). — Fondations sur piliers isolés (110). — Exécution des puits par compression (111). — Puits par havage sur rouet descendant (112). — Fondation sur pilotis (113). — Battage des pieux (113) 52
 § 4. Emploi du béton armé 59

CHAPITRE V. — MASSIFS EN MAÇONNERIE

- § 1. Des murs. — Différentes catégories (115). — Murs à contreforts (117) 62
 § 2. Des voûtes. — Voûtes épaisses pour plancher sous machines (123) 65
 § 3. Chainage des murs. — Mode de serrage (130). — Écrou à lanterne (132). — Chainage des coupoles (133). — Chainage des murs soumis à la chaleur (134). 70

CHAPITRE VI. — PETITE CHARPENTE ET MENUISERIE

- § 1. Généralités sur les planchers d'usine. — Travure (137). — Travures en bois (138). — Enchevêtrures (139). — Travures en fer (140). — Les hourdis (141). — Aires des planchers d'usines (143). — Planchers d'habitation (144). — Planchers en béton armé (145) 74
 § 2. Pans de bois et pans de fer. — Pans de bois (147). — Composition d'un pan de bois (148). — Remplissage ou platelage (149). — Pans de fer (150). — Ossatures en fer pour petits bâtiments (152). — Contreventement (153). — Pans

	de fer pour grands édifices (154). — Le remplissage (155). — Piliers tubulaires (156). — Semelle de pilier (157). — Application au pan de pignon d'une grande halle (158)	84
§ 3.	Portes et châssis en bois et en fer. — Portes à barres, portes à cadres (159). — Locaux industriels (160). — Baies vitrées (161). — Pose en tableau (162). — Châssis inclinés (163). — Grands pans vitrés (163)	95

CHAPITRE VII. — CHARPENTES DE COMBLES EN BOIS

§ 1.	Considérations sur les charges qui entrent en jeu dans le calcul des charpentes. — Charges des charpentes de combles (166). — Action du vent (167)	101
§ 2.	Éléments d'un comble	105
§ 3.	Des charpentes en bois. — Fermes renforcées pour suspension de palans ou de transmission (180). — Fermes à grande portée (181). — Combles de rondes (182). — Fermes à sous-arbalétriers (183). — Fermes ogivales de grande portée (184). — Sheds suspendus (185). — Petites fermes en consoles (186). — Ferme légère démontable (Ardant) (187)	105
§ 3.	Charpentes mixtes. — Ferme à la Polonceau (188). — Organisation de la ferme (190). — Polonceau improvisé (191)	117

CHAPITRE VIII. — CHARPENTES MÉTALLIQUES

§ 1.	Quelques charpentes métalliques industrielles. — a) Abris de quai (193). — b) Polonceau articulé (194). — c) Polonceau rigide (195)	122
§ 2.	Fermes à réseaux (fermes anglaises). — Mode de calcul (199). — Variantes (200). — Fermes en sheds brisés (201). — Ferme à semelle inférieure abaissée (202)	127
§ 3.	Fermes à semelle inférieure polygonale ou courbe. — Ferme à lanterneau (204). — Fermes en consoles (206). — Fermes de terrasse (207). — Charpentes en rotonde (208)	134
§ 4.	Fermes à extrados polygonal et en voûte. — b) Voûtes métalliques (210). — c) Hangars en voûte pour dirigeables (211). — d) Voûtes en béton armé (212). — e) Hangar en ciment armé pour dirigeables (213)	139

CHAPITRE IX. — DE LA COMPOSITION DES FAÇADES

§ 1.	Considérations générales. — De l'harmonie que l'on peut rechercher dans la construction industrielle (214). — De la division et de la répartition des masses (215). — De la symétrie (216). — De l'influence des lignes horizontales et verticales (217)	145
§ 2.	Des divisions horizontales de la façade. — Le soubassement (218). — Le corps principal (219). — Le couronnement (220)	148

CHAPITRE X. — DES FAÇADES

§ 1.	Des bandeaux horizontaux. — Bandeaux en briques (222). — Bandeaux brisés ou courbes (223)	151
§ 2.	Des couronnements et des corniches. — Composition d'une corniche (224). — Entablement complet (225). — Corniches architravées (226). — Corniches simples (227). — Mode de construction (228). — Matériaux de corniches (229)	155
§ 3.	Des frontons et pignons. — Couvertures à deux pans (230). — Les frontons classiques (231). — Pignons pratiques (232). — Rampants continus (233)	160
§ 4.	Ensemble de la façade. — Façades à pilastres de grande hauteur (235)	162

CHAPITRE XI. — LOGEMENTS ET BUREAUX

§ 1.	Bureaux et logements du personnel. — Direction et bureaux (238). — Concierge d'une usine (240).	167
§ 2.	Pavillon de directeur ou de chef d'usine. — Indépendance nécessaire (241). — Distribution (242). — Maison du chef d'usine de la Siagne (243).	171
§ 3.	Logements de contremaîtres. — Type à trois logements (246). — Types à simple rez-de-chaussée (247)	176
§ 4.	L'habitation de l'ouvrier, logements collectifs. — Type GE pour logements collectifs (249). — Logements collectifs d'ouvriers célibataires (250).	181
§ 5.	Réfectoires et coopératives. — Coopératives (252).	184
§ 6.	Ecuries et remises. — Fosse à fumier et à purin (256)	185

CHAPITRE XII. — INSTALLATIONS SANITAIRES

§ 1.	Installations pour l'hygiène de l'atelier	188
§ 2.	Installations sanitaires, systèmes de vidange. — a) Fosses fixes (261). — b) Tinettes mobiles (262). — c) Système du « Tout à l'égout » (263). — d) Fosses septiques (265). — Achèvement de l'épuration (266).	191
§ 3.	Organisation des cabinets. — Obturation du trou de chute (270). — Système à collecteur unique (271). — Des chasses (272).	195
§ 4.	De l'alimentation en eau. → Provenance (274). — a) Eau de source (276). — b) Eau de rivière (277). — Epuration (278). — Alimentation et distribution dans un établissement industriel (279). — Prise sur une canalisation urbaine. Robinet de jauge (280). — Canalisation de distribution (281). — Réservoirs (282). — Réservoirs en béton armé (285).	200
§ 5.	L'air et la lumière à l'usine. Ventilation et dépoussiérage. — Causes qui vicient l'air (286). — Influence de l'acide carbonique (287). — Volume nécessaire de l'air de renouvellement (288). — Détermination des orifices (289). — Organes accessoires (291). — Procédés mécaniques (292). — Dépoussiérage (293)	207

CHAPITRE XIII. — CHAUFFAGE. UTILISATION INDUSTRIELLE DE LA CHALEUR

§ 1.	Considérations générales. — Causes de déperdition (295). — Températures nécessaires du chauffage (296). — État hygrométrique (297)	212
§ 2.	Appareils de chauffage domestique isolés. — Poêles à gaz (298 bis)	215
§ 3.	Chauffage collectif. — A. Calorifères à air chaud : Calorifères à tables réfractaires (303). — Conduites d'air chaud (304). — B. Chauffage à eau chaude : Principes généraux de la distribution (306). — a) Distribution par boucles horizontales (307). — b) Système à boucles verticales (308). — Chaudières (309). — Vase d'expansion (310). — Canalisation (311). — Surfaces de chauffe (313). — a) Chauffage à basse pression (314). — b) Chauffage par l'eau à haute pression (315). — C. Chauffage par la vapeur : ses avantages (317). — Inconvénients de la vapeur (318). — a) Chauffage à très basse pression (319). — Chaudière à basse pression (320). — Réglage du tirage (321). — Calcul de la puissance de la chaudière (322). — Distribution (323). — Montage à 1 tuyau (324). — Montage « français » (325). — b) Chauffage par vapeur vive ou à haute pression (326)	216

CHAPITRE XIV. — DES CHEMINÉES D'USINES

§ 1.	Conditions d'établissement. — Dimensions nécessaires (328). — a) Hauteur (329). — b) Dimensions transversales (330). — Volume des gaz évacués (332). — Stabilité (334). — Effets de la poussée du vent (335). — Isolement d'une cheminée comprise dans un pôle de constructions (336). — Nature des matériaux (337). — Profil extérieur et organisation de la cheminée (338). — Profil intérieur (339)	231
§ 2.	Cheminées en béton armé. — Réservoirs d'eau utilisant la chaleur des gaz évacués	238
§ 3.	Fondations des grandes cheminées	242
§ 4.	Redressement d'une cheminée. — a) Procédé par affouillements systématiques (348). — b) Procédé par résection (349)	243
§ 5.	Cheminée à tirage artificiel.	244

CHAPITRE XV. — ORGANISATION D'UNE USINE THERMIQUE

§ 1.	De la chaufferie. — Éléments d'une usine thermique (353). — Salle des générateurs (354). — Éléments du calcul des appareils de chauffe (355). — Surfaces de grille et de chauffe (356). — Évacuation des fumées (359). — Évacuation des cendres (360). — Alimentation en combustible (361). — Chargement des trémies; convoyeurs (362)	246
§ 2.	Chambre des moteurs.	250
§ 3.	Note sur la réglementation administrative des appareils à vapeur. — a) Mesures de sécurité; b) Nature des épreuves; c) Timbre; d) Appareils de sûreté (365)	250

CHAPITRE XVI. — MONOGRAPHIES D'USINES
THERMO-ÉLECTRIQUES

§ 1.	Nouvelle station centrale d'électricité de la Compagnie du Gaz de Lyon. — Dispositions générales (366). — Chaufferie (367). — Alimentation en combustible (368). — Évacuation des cendres (369). — Salle des machines (370). — Installation électrique (371)	252
§ 2.	Usine électrique à vapeur du Cap Pinède. — Sous-station (374)	256
§ 3.	Usine du Métropolitain de Paris	261

CHAPITRE XVII. — RÉALISATION D'UNE FORCE HYDRAULIQUE

§ 1.	Aménagement d'une chute. — Puissance d'une chute d'eau (384). — Aménagement (385). — a) Usine en rivière (387). — b) Usine en montagne (388). — Organisation schématique (389)	265
§ 2.	Détails d'organisation et de construction. — A. Barrages : a) Digues et barrages en terre (390). — b) Barrages mixtes (393). — c) Barrages en maçonnerie (394). — Barrages de grande hauteur dans une vallée encaissée (395). — Profil (397). — Vérification d'un profil (398). — Déversoir (400). — Barrages métalliques et en béton armé (401). — Barrages à pertuis en rivière (404). — Barrages à hausses mobiles et à fermettes (405). — Barrages automatiques (406). — Barrages à vannes de grande hauteur (407). — B. Prise d'eau : Prise directe (408). — C. Canal d'amenée (413). — D. Ouvrages de garde (414). — E. Conduites forcées (415). — Tuyaux en fonte (416). — Tuyaux en ciment armé (417). — Tuyaux en tôle d'acier (418). — Calcul de l'épaisseur de tôle (419). — Pente (420). — Perte de	

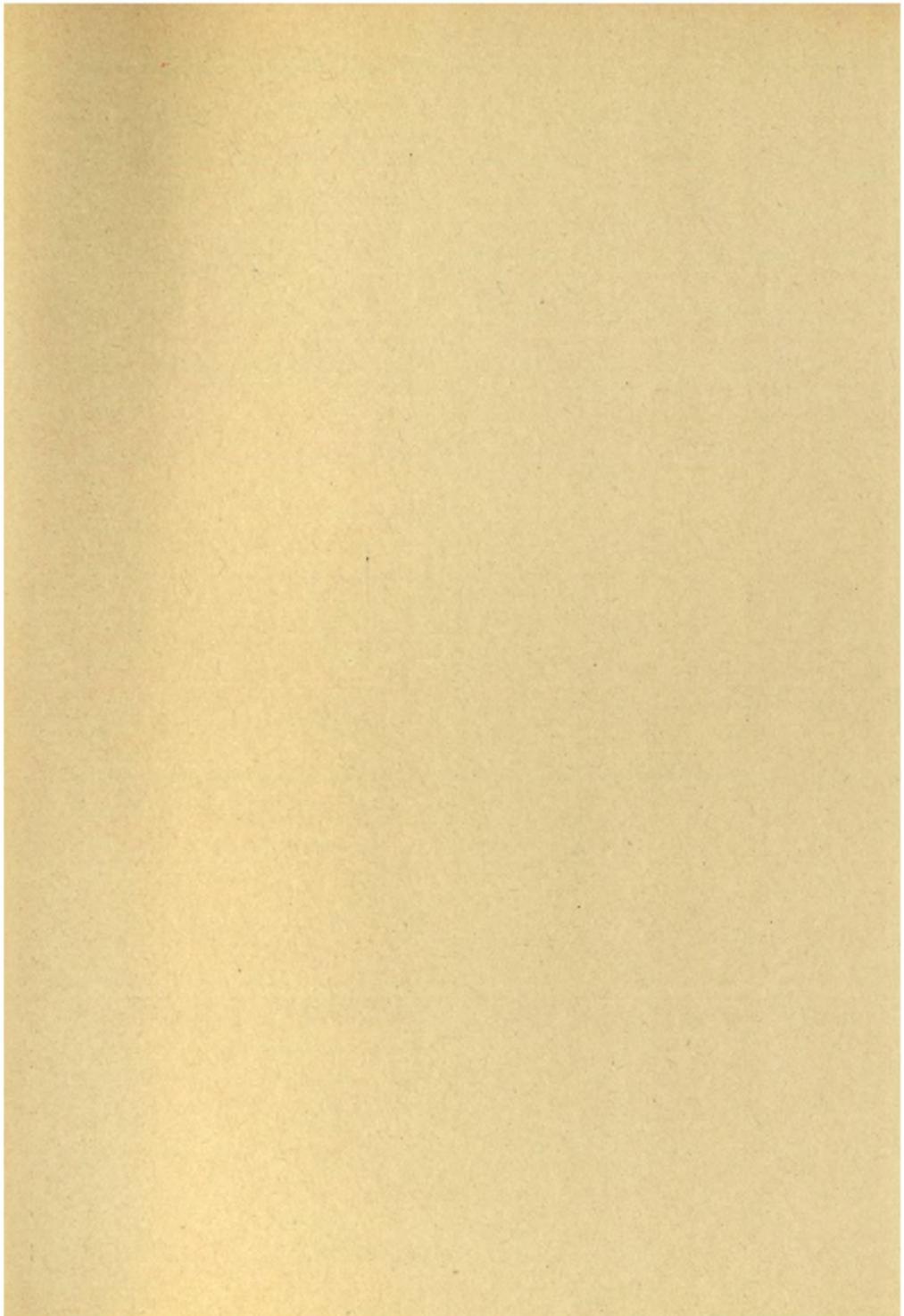
charge (421). — Cheminées d'équilibre (422). — Ventouses (423). — Reniflards (424). — Collecteurs (425).	269
§ 3. Organisation d'ensemble. — Exemples d'installation (426). — Organisation hydraulique de l'usine hydro-électrique du lac de Chalain (427). — Prise et dérivation (428). — Dans la traversée du bief de l'OEuf (430). — Conduite forcée (432). — Cheminée d'équilibre (433). — Usine (434).	293

CHAPITRE XVIII. — AMÉNAGEMENT DE L'USINE PROPREMENT
DITE (USINE ÉLECTRIQUE)

§ 1. Préliminaires (435).	304
§ 2. Régime de consommation. — Cas d'un réservoir (437). — Nécessité d'une machine de secours (438).	305
§ 3. Des turbines. — Deux types de turbines (439). — Nombre d'unités électrogènes (441).	307
§ 4. Salle des machines (442). — Charpente et couverture (445). — Chambre d'eau (447).	308
§ 5. Salles et installations diverses	310
§ 6. Quelques indications sur les entreprises électriques. — Prix de l'électricité (452).	316

CHAPITRE XIX. — MONOGRAPHIE D'UNE USINE HYDRO
ET THERMO-ÉLECTRIQUE. USINE MIXTE DE TUILIÈRE

§ 1. Organisation générale. — Programme sommaire (456). — Plan d'ensemble (457).	318
§ 2. Détail des ouvrages hydrauliques. — Prise d'eau et guideau (458). — Déversoir (459). — Barrage (460).	320
§ 3. Usine hydraulique. — Chambre haute des machines (462).	324
§ 4. Usine thermique. — Chaufferie (464). — Cheminées (465). — Manutention du charbon (466). — Reprise des cendres (467). — Bâtiment des turbines à vapeur (468). — Bâtiment des transformateurs (469).	327



COURS ET INSTRUCTIONS remis aux Auditeurs et Correspondants (Suite).

tion en eau et installations sanitaires. — 2^e Partie. Chauffage et ventilation. — 10^e Partie. Distribution et installation d'ensemble d'un bâtiment. — 11^e Partie. Composition des façades et du parti architectural. — 12^e Partie. Instruction pour la rédaction d'un projet. — 13^e Partie. Instruction pour le lever de bâtiment. — 14^e Partie. Métré et estimation du bâtiment.

Ascenseurs et monte-charges.

Construction et installation des Bâtimens agricoles.

Construction des Usines et des établissemens industriels.

Cours d'Architecture :

Livre I. Eléments d'Architecture. — *Livre II.* Composition architecturale.

XVII. — Béton armé.

Précis pour le calcul des ouvrages en Béton armé.

Cours de Béton armé :

Livre I. Procédés généraux de construction et calcul des ouvrages. — *Livre II.* Compléments et Applications.

XVIII. — Chemins de fer.

Cours de Chemins de fer :

1^{re} Partie. Etudes et travaux d'infrastructure. —

2^e Partie. Matériel fixe de la Voie. — 3^e Partie. Super-

structure et entretien de la Voie et des Bâtimens. —

4^e Partie. Matériel roulant. — 5^e Partie. Exploitation

technique. — 6^e Partie. Exploitation commerciale. —

Cours de Locomotives.

Cours de Tramways urbains.

Cours de pratique du Service. Organisation du service de

la Voie dans les Compagnies de Chemins de fer.

Cours de Voies ferrées d'intérêt local :

Livre I. Concession. — *Livre II.* Construction. — *Livre III.*

Matériel roulant. Exploitation. Chemins de fer spéciaux.

Cours de Chemins de fer à crémaillère, funiculaires et

transports aériens. — *Livre VI.* Accidents et

Notice sur les Enclenchemens.

XIX. — Mécanique, Mines et Métallurgie.

Cours de Machines-Outils :

Livre I. La Machine, l'Outil et les Mécanismes. —

Livre II. Etude de détail des différents types de ma-

chines.

Cours d'Organisation des fabrications mécaniques :

Livre I. Services de préparation. — *Livre II.* Montage

et exécution des fabrications mécaniques.

Notions sommaires sur l'Exploitation des Mines.

Cours d'Exploitation des Mines :

Livre I. Préliminaires. Recherches et Sondages. Abat-

tage. — *Livre II.* Soutènement des chantiers et galeries.

Fonçage et soutènement des puits. — *Livre III.* Mé-

thodes d'exploitation, en carrière et souterraine. —

Livre IV. Transports souterrains. Extraction. — *Livre V.*

Epuisement. Aérage et éclairage. — *Livre VI.* Accidents

et hygiène. Installations à la surface. Données écono-

miques. Réglemens

Cours de Prospections minières :

Livre I. Prospection minière proprement dite. —

Livre II. Etude spéciale des gîtes minéraux et métal-

lifères.

Notions de Métallurgie.

Cours de Métallurgie :

Livre I. La Fonte. — *Livre II.* Elaboration des Fers et

des Aciers. — *Livre III.* Travail des Fers et des Aciers.

— *Livre IV.* Essais mécaniques des Fontes, des Aciers

et des Fers. — *Livre V.* Métallurgie des principaux

métaux usuels autres que le Fer.

XX. — Rédaction des projets.

Notions sur le Métré (Cubature des terrasses et ouvrages

d'art).

Cours de projet de Tracé et de terrassements (*texte et*

planches).

Cours d'Ouvrages d'art :

1^{re} Partie. Description et Métré : *Livre I.* Ouvrages en

maçonnerie. — *Livre II.* Ouvrages en bois et en

métal. — *Livre III.* Stéréométrie ou métré.

2^e Partie. Rédaction des projets : *Livre I.* Instruction

sur la rédaction des projets. — *Livre II.* Ponts en

maçonnerie. — *Livre III.* Ponts métalliques.

Cours de Ponts en maçonnerie :

Livre I. Débouchés. Emplacement. Stabilité des voûtes.

Piles et Culées. — *Livre II.* Etudes des divers éléments

des ponts en maçonnerie. — *Livre III.* Projet et exécution

des ouvrages.

Cours de Constructions métalliques :

Livre I. Généralités. — *Livre II.* Etude des assemblages

et détails de construction. — *Livre III.* Charpentes en

fer. — *Livre IV.* Ponts métalliques. — *Livre V.* Montage

et éprouves. Etablissement d'une entreprise et estima-

tion. — *Livre VI.* Etude des avant-projets de ponts

métalliques à une seule travée.

XXI. — Hygiène et Accidents du travail.

Cours d'Hygiène professionnelle :

Livre I. Hygiène générale des établissemens. — *Livre II.*

Hygiène professionnelle. — *Livre III.* Accidents.

Cours de l'événement des accidents du travail.

Hygiène du travail.

XXII. — Divers.

Conseils aux Candidats à la veille des examens :

(Aspirant-Ingénieur-adjoint et Ingénieur-adjoint des Tra-

vaux publics de l'Etat, ingénieur du contrôle de l'Etat

sur les Chemins de fer, etc.).

Cours de Mécanique et Physique industrielles :

Combustion. — Fours. — Industries textiles.

Formulaire mathématique et technique.

Le Rôle de l'Ingénieur et les travaux aux colonies.

Mécanique et Physique industrielles. Des Unités.

Cours d'Algèbre (compléments).

Cours de Géométrie (Vasnier) :

1^{re} Partie. Géométrie plane. — 2^e Partie. Géométrie dans

l'espace. — 3^e Partie. Courbes et surfaces usuelles.

Table des moments d'inertie et renseignements divers pour

calculs de résistance.

Problèmes de raccordemens circulaires tangentiels des

voies de chemins de fer.

La Taylorisation et son application aux conditions indus-

trielles de l'après-guerre.

Le Problème commercial. Organisation rationnelle du

Commerce industriel.

Table de courbes de rayon de 30 à 1000 m. (chaussées).

Service spécial de rédaction et vérification de projets

Projets et Consultations pour MM. les Ingénieurs, Architectes, Municipalités, etc.