

**CONSTRUCTION**  
**DU**  
**CANAL DE JONAGE**

**EXEMPLAIRE IMPRIMÉ**

**POUR**

**Monsieur HENRI GIRARDON**

**Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.**

SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE

---

(1201)

# CONSTRUCTION DU CANAL DE JONAGE

---

TRAVAUX — INSTALLATIONS HYDRAULIQUES ET ÉLECTRIQUES

---

MONOGRAPHIE

PAR

**René CHAUVIN**

Ancien élève de l'École Polytechnique  
Ingénieur de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône.



---

PUBLIÉ PAR

**LA SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE**

---

**TEXTE**

**PARIS**

**LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR**  
**SUCCESSION DE BAUDRY ET C<sup>ie</sup>**

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

**MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE**

1902

Tous droits réservés.

## SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE

---

### CONSEIL D'ADMINISTRATION

---

MM.

**JOSEPH-ALPHONSE HENRY** ✱, Fabricant de soieries, ancien Président de l'Association syndicale de la Fabrique lyonnaise, ancien Président du Conseil des Prud'hommes, *Président*.

**AUGUSTIN FALCOUZ**, Président de la Société de chemins de fer algériens, Administrateur de la Société des Verreries de Rive-de-Gier, *Vice-Président*.

**JULES DE BOISSIEU**, Ingénieur civil des Mines, Président de la Société des Houillères de Berestow, Administrateur de la Société des Forges et Aciéries de la Kama et de la Société nouvelle des Établissements de l'Horme et de la Buire, *Secrétaire*.

**ETIENNE BERNE**, Administrateur de la Nouvelle Compagnie Lyonnaise de Tramways.

**HENRI FONTAINE**, Agent de change honoraire, Président de la Société des Houillères de Dombrowa, Président de la Compagnie l'Industrie Électrique de Genève.

**FRANÇOIS JACQUIER**, Banquier, Administrateur de la Banque Privée.

**JOANNIS RACLET** ✱, Ingénieur, *Administrateur délégué*.

---



## AVANT-PROPOS

---

Le lecteur qui suivra de près l'historique de la construction du canal de Jonage, réfléchira à l'effort considérable qu'a exigé cette grande entreprise de la part des hommes qui s'étaient donné pour tâche de la conduire à bonne fin.

Cette œuvre est celle des Administrateurs de la Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône dont la confiance et la fermeté allèrent en grandissant avec les difficultés. Que ce fût au début de l'entreprise, alors qu'il s'agissait de vaincre l'opposition de puissants intérêts coalisés, d'inspirer confiance à l'opinion et au crédit, d'obtenir des pouvoirs publics l'autorisation de capter un grand fleuve ; que ce fût au cours de la construction, alors qu'il fallait remplir les lourds engagements qu'entraînait la constitution d'un important capital ; que ce fût à la fin des travaux, alors qu'apparurent des difficultés qui retardèrent l'achèvement et imposèrent de nouvelles dépenses, le Conseil d'Administration ne recula devant aucune peine, devant aucun sacrifice. Offrant pour garantie l'honorabilité de ses membres, leur souci des intérêts de la Société, leur conviction profonde du succès final, il trouva toujours aux moments difficiles la confiance du capital. Les maisons de banque Jacquier, Falcou et C<sup>e</sup> à Lyon, Demachy et F. Seillière à Paris, ont en effet, depuis le premier jusqu'au dernier jour, constamment prêté leur appui financier à la Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône et le Crédit lyonnais a bien voulu donner son puissant concours aux diverses émissions d'obligations.

Aujourd'hui que les forces naturelles d'un grand fleuve sont en partie soumises à la volonté de l'homme, transportées au lieu d'emploi, distribuées

suivant le besoin, un véritable progrès social est réalisé dans une agglomération de 600.000 habitants, pour le bien des classes les moins favorisées de la fortune sans le secours de l'État, sans le concours de la Ville, sans monopole, sans privilège, sans que l'intérêt d'aucun tiers ait été lésé.

A ce point de vue, la Construction du Canal de Jonage offre un enseignement moral plus utile encore que son enseignement technique : car elle restera un exemple frappant de ce que peuvent la foi et la volonté au service d'une idée juste.

RENÉ CHAUVIN.

---

FAC-SIMILÉ DE LA PLAQUE COMMÉMORATIVE  
DÉPOSÉE, LE 14 AVRIL 1897, PAR LE CONSEIL D'ADMINISTRATION  
DE LA SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE,  
DANS LES MAÇONNERIES DU BAJoyer (RIVE GAUCHE)  
DE L'ÉCLUSE A DEUX SAS DE CUSSET



# RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

## SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE

Distribution d'énergie électrique au moyen de la Dérivation éclusée de Jonage  
CONCÉDÉE PAR LA LOI DU 9 JUILLET 1892

Sous les Présidences de *Sadi-Carnot, Casimir-Perier, Félix-Faure*  
Pendant les Ministères des Travaux Publics de *M.M. Yves Guyot, Violle, Jonnart, Barthou, Dupuy, Duteemps, Guyot, Dessaigne & Currel.*  
*M.M. Jules Cambon, Georges Rivaud, Préfets du Rhône.*  
*M.M. les Généraux Baron Berge, Voisin, Fédé, Gouverneurs militaires de Lyon,*  
*M. le Docteur Guilleton, Maire de Lyon.*  
*M. E. Fays, Maire de Villeurbanne.*

*M.M. Guillaud, Guinette de Rochemont, Inspecteurs Généraux des Ponts & Chaussées, Directeurs au Ministère des Travaux Publics.*  
*M.M. Jaquet, Boulé, Lax, de Basire, Inspecteurs Généraux des Ponts & Chaussées.*  
*M. Girardon, Ingénieur-en-Chef des P. & C. de la Région, chargé de la Navigation du Rhône.*

Ce Canal, avec tous ses ouvrages : Digues, Ponts, Barrages, Écluses et Usine, y compris la Distribution d'énergie électrique à la Ville de Lyon et à Villeurbanne, a été construit d'après la conception, les Plans et Devis de *M. J. RACLET*, Ingénieur Civil. Commencé en 1894 et achevé en 1897 par la SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE, Société Anonyme au Capital de 16 Millions.

### CONSEIL D'ADMINISTRATION

Président, *M. J. A. Henry*  
Vice-Président, *M. L. de Sinsay*  
Secrétaire, *M. J. de Boissieu*

Administrateurs : *M.M. P. Bouchard, A. Falcoux, F. Jacquier, M. Hachette*

Administrateur délégué à la Direction de la Société *M. J. Raclet.*

TRAVAUX : Les Plans définitifs des ouvrages et leurs constructions ont été exécutés sous la Direction de *M. Cotteland*, Ingénieur en Chef des P. & C.  
Directeur des Travaux, ayant sous ses ordres *M. Raviot*, Ingénieur. *M.M. Nadier, Pouchemousse, Chef de Section, et M. Agnès, Meistrallet et Routin.*  
EXPLOITATION : *M. Henard*, Ingénieur en chef de l'exploitation électrique, ayant sous ses ordres *M.M. Laroche et Clemencin*, Ingénieurs électriciens.  
ENTREPRISE DU CANAL : 1<sup>er</sup> Lot en amont : *M.M. Vigner et Rouca* - 2<sup>ème</sup> Lot en aval : *M.M. Audbert, Almeras et Jubin.*  
ENTREPRISE pour la PARTIE ÉLECTRIQUE : *M. H. Schneider*, de Cusset, avec les concours de *M.M. Escher, Wyls & Co*, de Zurich, pour les Turbines ; de *M.M. Brown, Boveri & Co*, de Baden, (Suisse) pour les Dynamos, et de *M.M. Berthoud, Borel & Co*, à Lyon, pour les Câbles de la Canalisation électrique.

OND-GRAY LYON.

Postérieurement à la date de cette plaque commémorative, la *Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône* a fait exécuter un nouvel ouvrage de garde et des travaux d'assainissement aux abords du canal.

Ces travaux ont été dirigés par M. R. CHAUVIN, ayant sous ses ordres M. GARCIA, chef de section et MM. CAILLOL, GICQUIAU, ROCHE et VÉROT, sous-chefs de section.

M. Louis VERGÉ a été l'entrepreneur du nouvel ouvrage de garde.

# CONSTRUCTION

DU

# CANAL DE JONAGE

---

## INTRODUCTION

---

Une loi du 9 juillet 1892 a déclaré d'utilité publique une distribution d'énergie électrique produite par une dérivation du Rhône en amont de Lyon. La même loi a concédé pour quatre-vingt-dix-neuf ans l'exploitation de cette distribution à un syndicat d'études auquel a été substituée la Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône, par décret du 21 décembre 1893. Cette société a pris à sa charge les dépenses d'établissement et d'entretien de la dérivation et de la distribution, ainsi que celle, du rétablissement et du maintien de la navigation.

La dérivation, aujourd'hui exécutée, est connue sous le nom de canal de Jonage. Elle a son origine à Jons près de Jonage et aboutit au Grand Camp de Lyon. La chute est à Cusset, aux portes de la ville. La puissance effective est de 12.000 chevaux de vingt-quatre heures. L'énergie est distribuée, par une canalisation électrique, à la ville de Lyon et aux communes environnantes.

L'idée de cette utilisation des forces naturelles du Rhône est due à M. J. Raclet, ingénieur à Lyon, auteur du projet approuvé par l'État conformément à l'article 5 du cahier des charges de la loi de concession. A côté de M. Raclet, il convient de citer comme promoteur du canal de Jonage, M. J.-A. Henry, Président du conseil d'administration de la Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône, qui a apporté l'autorité de son nom et consacré les plus grands efforts à la réussite de l'entreprise et aussi le

regretté M. F. Jacquier père, alors banquier à Lyon, qui, saisissant de suite tout l'intérêt d'une idée féconde, fut le principal fondateur du syndicat d'études.

Les projets définitifs des ouvrages, approuvés par l'État, ont été dressés et les travaux ont été exécutés sous la direction de M. A. Gotteland, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, dont nous avons été le collaborateur (1894-1899) et, sur sa demande, le successeur (1899-1902).

Nous allons examiner les trois parties principales de l'entreprise au point de vue technique, savoir :

CHAPITRE I. — *Construction du canal proprement dit.*

CHAPITRE II. — *Installation hydraulique de l'usine de production d'énergie.*

CHAPITRE III. — *Installation électrique de cette même usine, canalisation et distribution de l'énergie.*

---

# **CHAPITRE PREMIER**

**CONSTRUCTION DU CANAL PROPREMENT DIT**



## CHAPITRE PREMIER

### CONSTRUCTION DU CANAL PROPREMENT DIT

Le volume d'eau dérivé du Rhône est de 100 mètres cubes par seconde en temps d'étiage et il augmente progressivement, avec le niveau du Rhône, jusqu'à 150 mètres cubes pour un débit du fleuve de 600 mètres cubes.

Le débit dérivé pouvant gêner la navigation du Rhône en basses eaux, on a dû établir le canal de façon qu'il fût navigable en tout temps.

La différence de niveau entre l'origine et l'embouchure du canal varie de 13<sup>m</sup>,25 à 14<sup>m</sup>,50 ; elle se maintient pendant trois cents jours par an au voisinage de 14<sup>m</sup>,00. Cette chute n'est pas en tout temps entièrement utilisée, comme nous le verrons plus loin.

Le canal a une longueur de 18<sup>km</sup>,850 (pl. I, fig. 1 et 2). Il est en communication permanente avec le Rhône, depuis l'origine jusqu'au point 5<sup>km</sup>,575. En ce point est établi un barrage de garde et de prise d'eau. Du point 5<sup>km</sup>,575 au point 15<sup>km</sup>,780, le canal forme un grand réservoir où le niveau de l'eau variera de 2<sup>m</sup>,00 environ. L'eau est retenue au point 15<sup>km</sup>,780 par un barrage auquel est adossée l'usine ; elle est ramenée au Rhône par un canal de fuite de 3<sup>km</sup>,065 de longueur.

Une écluse simple, attenant à l'ouvrage de garde, et une écluse double, attenant à l'usine-barrage, assurent la navigation avec un tirant d'eau minimum de 2 mètres.

Un déversoir à l'aval de la prise d'eau au point 8<sup>km</sup>,600, est destiné à écouler le trop-plein accidentel du canal.

Sept grands ponts sur le canal rétablissent les communications.

Des ponts, ponceaux et aqueducs assurent l'écoulement des eaux dans le canal ou latéralement au canal.

Les travaux du canal de Jonage comprennent ainsi :

- 1° Une dérivation proprement dite ;
  - 2° Un ouvrage de garde et de prise d'eau ;
  - 3° Une écluse de garde ;
  - 4° Un déversoir ;
  - 5° Un barrage et une usine formant une seule et même construction ;
  - 6° Une écluse double ;
  - 7° Sept grands ponts ;
  - 8° Des ponceaux, aqueducs et autres ouvrages secondaires.
-

## § 1. — DÉRIVATION PROPREMENT DITE

**Conditions d'établissement.** — *Tracé* (pl. I, fig. 1). — Depuis son origine jusqu'à l'usine, c'est-à-dire sur toute la longueur du canal d'aménée, la dérivation suit à gauche le pied d'un coteau, désigné sous le nom de *Balmes Viennoises*, qui formait la rive gauche du Rhône au temps où le fleuve remplissait toute sa vallée. Cette circonstance favorable a réduit les travaux d'endiguement à une digue de rive droite et le coteau naturel n'a été touché que pour l'établissement d'un chemin de contre-halage. Le canal est ainsi enfermé entre un coteau naturel et une digue artificielle.

Vers le milieu de la dérivation, les balmes s'infléchissent en formant une vaste baie de 150 hectares qui emmagasine un volume de 4 millions de mètres cubes d'eau et augmente ainsi la réserve du canal. Ce réservoir permet, à certaines heures du jour, de consommer à l'usine un volume d'eau bien supérieur au débit constant de la prise d'eau. On lui a donné le nom de *réservoir compensateur*.

Au delà de l'usine, c'est-à-dire dans le canal de fuite, la dérivation se retourne dans la plaine en suivant le mur d'enceinte de la ville de Lyon ; elle est établie tout en déblai.

*Profil en long* (pl. I, fig. 2). — De l'origine au point 5<sup>km</sup>,575, le canal est en communication directe avec le Rhône et les digues, en premier lieu, ont été arasées sur toute cette partie à 1<sup>m</sup>,00 au-dessus des plus hautes eaux à l'origine du canal, soit à la cote (185,55).

En aval de l'ouvrage de prise d'eau, les digues sont arasées à 4<sup>m</sup>,05 plus bas que cette cote et le niveau des eaux dans le canal est prévu à 1<sup>m</sup>,50 au moins en contre-bas des digues. Il y aura donc à l'ouvrage de prise d'eau, entre l'eau d'amont et l'eau d'aval, une différence de niveau pouvant aller jusqu'à 4<sup>m</sup>,55 et c'est cette hauteur de chute qui ne sera pas utilisée, comme nous l'avons dit précédemment. Immédiatement à l'aval de l'ouvrage de garde, la digue est surélevée de 0<sup>m</sup>,50 pour parer à l'éventualité d'un accident ou d'une fausse manœuvre aux vannes en temps de hautes eaux et écouler le trop-plein jusqu'à un déversoir qui le conduit au Rhône.

Le plafond du canal d'amenée est établi sur toute sa longueur avec une pente réelle ou théorique de  $0^m,10$  par kilomètre.

Le plafond du canal de fuite est horizontal sur toute sa longueur.

*Profils en travers* (pl. II). — Entre l'origine et l'entrée du réservoir, la largeur minima du canal au niveau du plafond théorique est de 60 mètres (fig. 1 et 2); entre la sortie du réservoir et l'usine, elle est de 105 mètres (fig. 3); les talus de remblais intérieurs ou extérieurs, ainsi que les talus de déblais, sont à 3 de base pour 1 de hauteur; exceptionnellement et par raison d'économie, ces talus ont été réduits à 2 pour 1 du côté de la balme, entre l'origine et l'ouvrage de garde. Des risbermes de  $0^m,50$  sont réservées à  $0^m,50$  au-dessus des hautes et des basses eaux.

La digue de rive droite sert de chemin de halage : elle présente une chaussée de 6 mètres, et, avec les banquettes, une largeur de 9 mètres en couronne.

Le chemin de contre-halage, établi sur la rive gauche à  $1^m,50$  au-dessus des plus hautes eaux, mesure 3 mètres de largeur, sauf dans les parties où il rétablit d'anciennes voies de communication.

Le canal de fuite présente une largeur normale de 70 mètres au plafond théorique, avec des talus à 2 de base pour 1 de hauteur; une risberme de  $0^m,50$  est réservée au niveau des basses eaux (fig. 4).

Toutefois, en exécution, dans les déblais graveleux où l'on a craint des pertes d'eau par filtration, le plafond du canal descend à  $0^m,50$  au-dessous de la ligne théorique, de façon que les dépôts produits par les eaux troubles colmatent le fond sans obstruer la section nécessaire à l'écoulement.

*Pertes de charge dans la longueur du canal.* — La section type du canal d'amenée, entre l'origine et le réservoir, a été établie de façon à débiter 120 mètres cubes par seconde avec la pente de  $0^m,10$  par kilomètre et la hauteur d'eau de  $2^m,50$ ; entre le réservoir et l'usine, elle a été calculée de façon à débiter 208 mètres cubes dans les mêmes conditions.

En réalité, le canal présente généralement, sauf dans les parties en déblai, une section plus grande que la section type, parce que, la digue de droite ne suivant pas toutes les inflexions du coteau et le fond du canal n'étant pas remblayé, la largeur du plafond et la hauteur d'eau sont bien supérieures à leur minimum sur une grande partie du parcours.

L'écoulement se fera donc suivant les lois du mouvement varié : en

appelant  $h$  la hauteur d'eau en un point du canal,  $s$  la distance de ce point à l'origine, on a d'après la formule du mouvement varié :

$$s - s_0 = \int_{h_0}^h \frac{1 - \frac{\alpha u^2 l}{9,808 \Omega}}{i - \frac{\Lambda u^2}{R}} dh$$

équation dans laquelle :

- $l$  représente la largeur du profil transversal à la surface de l'eau.
- $\Omega$  — la section d'écoulement.
- $R$  — le rayon moyen.
- $u$  — la vitesse de l'eau.
- $i$  — la pente du fond.
- $\Lambda$  — le coefficient relatif au mouvement uniforme donné par les tables.
- $\alpha$  — le coefficient de correction égal à  $1 + 210 A$ .

Adoptant pour  $l$  des valeurs moyennes, faisant varier  $h$ , construisant la courbe

$$y = \frac{1 - \frac{\alpha u^2 l}{9,808 \Omega}}{i - \frac{\Lambda u^2}{R}}$$

et mesurant les aires qui représentent  $s - s_0$ , on trouve :

Dans le canal d'amenée, depuis l'origine jusqu'à l'usine,

	PERTES DE CHARGE.
A l'étiage (179,00 à l'origine) . . . . .	0 <sup>m</sup> ,40
En hautes eaux ordinaires (181,30 à l'origine, débit du Rhône 600 mètres cubes) . . . . .	0 <sup>m</sup> ,22

Dans le canal de fuite,

A l'étiage (166,00 à l'embouchure du canal, débit maximum à l'usine 175 mètres cubes) . . . . .	0 <sup>m</sup> ,61
En hautes eaux ordinaires (168,00 à l'embouchure du canal, débit maximum à l'usine 208 mètres cubes) . . . . .	0 <sup>m</sup> ,13

En tenant compte de ces pertes de charge, on a :

	HAUTEURS DE CHUTE A L'USINE.
A l'étiage (au moment du minimum de consommation à l'usine) 179,00 — 166,00 . . . . .	13 <sup>m</sup> ,00
A l'étiage (au commencement de la consommation maxima à l'usine) (179,00 — 0,40) — (166,00 + 0,61) . . . . .	11 <sup>m</sup> ,99
A l'étiage (à la fin de la consommation maxima à l'usine) 11,99 — 0,75* . . . . .	11 <sup>m</sup> ,24
En hautes eaux ordinaires (au moment du minimum de consommation à l'usine (180,00 — 168,00) . . . . .	12 <sup>m</sup> ,00

---

\* 0,75 représente l'abaissement du plan d'eau en amont de l'usine, après quatre heures de consommation maxima.

HAUTEURS DE CHUTE  
A L'USINE.

En hautes eaux ordinaires (au commencement de la consommation maxima à l'usine) (180,00 — 0,22) — (168,00 + 0,13) . . . =	11 <sup>m</sup> ,65
En hautes eaux ordinaires (à la fin de la consommation maxima à l'usine) 11,63 — 0,63* . . . . . =	11 <sup>m</sup> ,03

D'après l'observation des hauteurs d'eau du Rhône pendant les quatre années de la construction (1894-1898), on peut compter que la chute se maintiendra dans ces limites environ 300 jours par an.

Accidentellement et par des hautes eaux exceptionnelles, elle peut tomber à 8<sup>m</sup>,50.

**Exécution des terrassements.** — Le montant total des déblais et dragages, y compris les fouilles d'ouvrages d'art, s'est élevé à 4.950.000 mètres cubes. Sur la première moitié du parcours, les remblais de la digue et les déblais du canal d'amenée s'équilibraient sensiblement; dans la seconde moitié, tous les remblais de la digue étaient fournis par les déblais du canal de fuite.

Cette répartition des terrassements a conduit à la division des travaux en deux entreprises s'étendant sur des longueurs à peu près égales. Dans chacun des deux lots, les terrassements ont été faits presque totalement par des excavateurs et par des dragues.

Le lot d'amont, adjugé à MM. Vigner et Roux, disposait de 2 excavateurs d'une force de 45 chevaux chacun, d'un petit excavateur de 30 chevaux et de deux dragues de 50 chevaux.

Le lot d'aval, adjugé à MM. Audbert, Alméras et Jubin, disposait de 4 excavateurs d'une force de 45 chevaux et d'une drague de 70 chevaux.

Les excavateurs étaient du type ordinaire Couvreur. Ils travaillaient partout où les voies pouvaient être installées à sec. Lorsque la profondeur d'excavation ne dépassait pas 4<sup>m</sup>,00, ils faisaient le déblai en une seule fois; lorsqu'elle dépassait 4<sup>m</sup>,00, le déblai s'exécutait en deux tranches ou deux passes: la première passe descendait jusqu'à 0<sup>m</sup>,30 au-dessus du niveau de l'eau, la deuxième passe allait à fond.

Dans les terrains de sable et de gravier, le rendement des excavateurs est à peu près le même, que les godets travaillent à sec ou qu'ils travaillent sous l'eau; dans les terrains d'argile, la production est bien supérieure quand le déblai se fait à sec. Les déblais marneux ou argileux imprégnés d'eau s'attachent aux godets, ne se déversent que difficilement dans les

---

\* 0,60 représente l'abaissement du plan d'eau en amont de l'usine, après quatre heures de consommation maxima.

couloirs, parfois même ne se déversent pas au retournement de la chaîne. On supprime alors avantageusement les portières des godets et l'on installe, sur l'arbre du tourteau supérieur, un racloir fixe R qui pénètre sous les godets mobiles et détache le déblai à son passage (pl. V, fig. 1). Les déblais argileux adhèrent aussi aux wagons de transport et donnent lieu à une décharge coûteuse. La différence de prix était tellement sensible que les entrepreneurs préféraient épuiser, à l'aide de pompes centrifuges, des surfaces de plusieurs hectares que de charger des déblais argileux humides.

Dans les fouilles de l'usine-barrage, les excavateurs ont dragué sous l'eau dans des terrains de sable et gravier jusqu'à une profondeur de 7<sup>m</sup>,00, mais à cette profondeur, s'il s'était agi d'un gros cube à exécuter, les dragues auraient été beaucoup plus avantageuses. Les talus, en effet, prenaient sous l'eau une inclinaison de 2 de base pour 1 de hauteur, et obligeaient, pour une profondeur de 7 mètres, d'avoir une élinde de 18 mètres de longueur ; avec cette longueur d'élinde et sous la charge des godets, la courbe de la chaîne prenait une flèche très prononcée et les godets entamaient le talus jusque sous la voie (fig. 2). Pour écarter la chaîne, on installa, en avant du châssis de l'excavateur, un tambour *a* porté par le châssis lui-même. Les maillons de la chaîne glissaient sur des galets et les godets passaient dans la partie centrale évidée du tambour.

Lorsque les excavateurs draguent sous l'eau dans des terrains à talus naturel peu incliné, à une profondeur de plus de 4<sup>m</sup>,00, le poids de l'élinde et son bras de levier deviennent trop grands pour qu'on puisse commodément les équilibrer par un contrepoids installé du côté opposé à l'élinde sous la caisse de l'excavateur. On allège l'élinde en reportant une partie de son poids sur un flotteur (fig. 2). Le flotteur F consiste simplement en un plancher porté par quelques tonneaux : sur le plancher est installé un treuil dont la chaîne exerce une traction sur le tourteau inférieur de l'élinde.

Dans le lot d'amont, où la distance moyenne des transports n'était que de 1.500 mètres, on faisait usage du matériel à la voie d'un mètre. Au plus fort de la production, 24 kilomètres de voie, 12 machines et 272 wagons desservaient les excavateurs : les wagons de 2 mètres cubes de capacité basculaient par côté et les déblais déchargés étaient répandus à la pelle par couches convenables.

Dans le lot d'aval, où la distance moyenne des transports atteignait 4.500 mètres, le matériel à voie étroite eût été insuffisant. On fit usage de plates-formes ordinaires à la voie de 1<sup>m</sup>,44. Au plus fort de la production, 32 kilomètres de voie, 13 machines et 225 wagons desservaient les excavateurs. Les plates-formes contenaient de 6 à 7 mètres cubes ; elles étaient

déchargées à la pelle. Les trains étaient de 17 à 20 plates-formes et portaient 100 à 120 mètres cubes. La décharge était coûteuse, mais les déblais étaient répandus par couches uniformes, les voies étaient déplacées fréquemment et le tassement des remblais s'opérait sûrement. C'était là un point très important dans le lot d'aval où le remblai atteignait jusqu'à 10 mètres de hauteur.

Les dragues étaient installées à l'origine et à l'embouchure du canal : à l'origine, deux dragues approfondissaient l'ancien bras du Rhône qu'emprunte la dérivation sur une longueur de 1.800 mètres ; à l'embouchure, une drague creusait dans le vieux Rhône un chenal d'accès au canal.

A la charge, les déblais étaient reçus du couloir de la drague dans des bennes ou dans des wagons placés sur des chalands qui les transportaient au lieu de décharge ou de reprise.

La décharge se faisait de plusieurs façons :

A l'origine du canal, les bennes étaient soulevées par un élévateur qui déchargeait directement les déblais sur la digue de rive droite, à leur emplacement définitif (pl. III, fig. 1 et 2). L'élévateur était installé sur un bateau porteur relié lui-même par deux passerelles à un second bateau qui contenait les approvisionnements de toutes sortes et assurait par son accouplement la stabilité du système. Les chalands chargés de bennes *b* étaient amenés entre les deux bateaux de l'élévateur et avancés au fur et à mesure du déchargement des bennes. L'élévateur consistait en une grue tournante. La volée *v* était reliée, par des haubans *h h' h''*, à une solide mâture fixe *m* qui tournait à sa base par un pivot dans une crapaudine. Le mouvement tournant était produit par une machine à vapeur qui actionnait alternativement deux treuils *tt'* dont les chaînes *cc'*, guidées par des poulies de renvoi sur la mâture fixe, s'attachaient, chacune, à l'un des côtés de la volée mobile. Suivant que la machine produisait l'enroulement de la chaîne sur un treuil ou sur l'autre, la volée tournait dans un sens ou dans l'autre. Une seconde machine produisait, sur un tambour *T*, l'enroulement d'une chaîne *C* fixée à la partie supérieure de la grue et soulevait, par l'intermédiaire d'une poulie *p*, la benne suspendue par des crochets. Une tringle en fourche, adaptée à l'un des côtés de la benne, était entraînée à une hauteur déterminée par un taquet fixé à la chaîne de levage. La benne basculait et la portière s'ouvrait sous le poids du chargement (fig. 3).

A l'origine du canal, sur la rive gauche, les chalands porteurs de wagons de déblais accostaient à un pont de débarquement (fig. 4, 5 et 6). Le tablier *T* de ce pont, mobile autour d'un axe fixe *a*, était équilibré par deux contrepoids *PP* qu'on manœuvrait à la main pour élever ou abaisser le



tablier : amené en place, le tablier était fixé par des clavettes *c*. Quel que fût le niveau de l'eau, on pouvait de la sorte raccorder la voie du pont avec la voie installée sur le chaland. Le train était ensuite tiré à terre, à l'aide d'un câble, par une machine fixe.

A l'embouchure du canal (pl. IV), les chalands porteurs étaient amenés par un toueur à côté d'un appontement. Une grue ordinaire de chargement, mobile sur rails, élevait les bennes et les déversait dans des wagons par un mouvement de bascule analogue à celui de l'élévateur.

Les déblais et dragages du canal étaient payés aux entrepreneurs, à raison de 0 fr. 89 le mètre cube dans le lot d'aval et de 0 fr. 90 dans le lot d'amont.

Le prix de revient, d'après les renseignements qui nous ont été fournis par les entrepreneurs eux-mêmes, se décompose dans les proportions suivantes :

A l'extraction et à la charge.	{	Mécanicien . . . . .	1,50 p. 100	
		Chauffeurs de jour et de nuit . . . . .	1,85 —	
		Chef de chantier . . . . .	1,50 —	
		Manœuvres (ripeurs de voie) . . . . .	12,20 —	
		Charbon . . . . .	3,48 —	
		Graissage . . . . .	0,58 —	
		Réparation de matériel . . . . .	4,65 —	
		Amortissement de matériel . . . . .	2,32 —	
			<hr/>	
			28,08 p. 100	28,08 p. 100
Au transport.	{	Mécanicien . . . . .	3,13 p. 100	
		Chauffeurs de jour et de nuit . . . . .	3,13 —	
		Serre-frein . . . . .	1,39 —	
		Aiguilleurs, gardes-barrières et cantonniers . . . . .	1,74 —	
		Charbon . . . . .	8,47 —	
		Graissage . . . . .	1,05 —	
		Réparation de matériel . . . . .	10,09 —	
		Amortissement de matériel . . . . .	6,96 —	
			<hr/>	
			35,96 p. 100	35,96 p. 100
A la décharge.	{	Chef et sous-chef de chantier . . . . .	1,97 p. 100	
		Déchargeurs et ripeurs de voie . . . . .	33,99 —	
			<hr/>	
			35,96 p. 100	35,96 p. 100
			<hr/>	
		Total . . . . .		100,00 p. 100

**Étanchement des digues. Corrois.** — L'étanchéité des digues constituait une des questions les plus importantes de la construction. Pour l'assurer, on s'efforça de réaliser une bonne liaison des remblais avec le sol naturel et on répartit les terres à l'intérieur de la digue d'après leur nature.

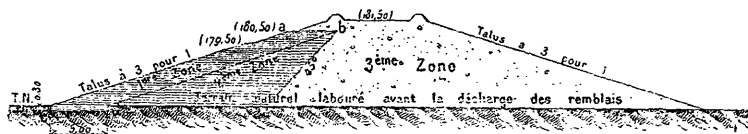
Le sol destiné à recevoir les remblais était préalablement débarrassé des racines, herbes ou plantes et ensuite pioché ou labouré ; sur une largeur de

5<sup>m</sup>,00 à l'intérieur de la digue, le terrain était déblayé de 0<sup>m</sup>,30. Partout où l'on rencontrait des terrains peu solides, à la traversée de marais ou d'anciens ruisseaux, les terres mouvantes étaient enlevées et la fouille descendue jusqu'aux argiles compactes ou au gravier. D'autres fois, quand la résistance du terrain ne laissait que des doutes, on se contentait de fossés normaux à la direction de la couche dangereuse, descendus jusqu'au terrain solide et reliés avec lui à ses deux extrémités. Ces fossés étaient remplis de bonne terre argilo-sablonneuse mélangée de chaux hydraulique et fortement pilonnée.

Les tranchées du canal donnaient trois natures de déblais : à la surface, de la terre végétale ; au-dessous, des argiles mélangées de sable fin en proportion plus ou moins forte ; à la partie inférieure, des sables et graviers jusqu'aux plus grandes profondeurs. Au point de vue des proportions, ces déblais se répartissaient sensiblement de la façon suivante :

LOT D'AMONT.		LOT D'AVAL.	
Terre végétale. . . . .	0,05	Terre végétale. . . . .	0,05
Argiles sableuses. . . . .	0,40	Argiles sableuses. . . . .	0,20
Sable et gravier. . . . .	0,55	Sable et gravier. . . . .	0,75

Ces terres furent réparties à l'intérieur de la digue en trois zones (1).



(1) — Profil de la digue de droite.

1<sup>o</sup> Une première zone *abcd*, de 5<sup>m</sup>,00 de largeur, constituait la partie corroyée. Elle était assise sur la partie déblayée du sol naturel.

On réservait pour cette zone les terres argilo-sablonneuses dont la composition se rapprochait le plus de la proportion de 30 p. 100 d'argile et de 70 p. 100 de sable, qui donne les meilleures terres à corroi. Elles étaient répandues par couche de 0<sup>m</sup>,10, saupoudrées de chaux hydraulique dans la proportion de 16 litres de chaux par mètre cube de terre ; dans les argiles maigres, on forçait la proportion de chaux. Les matières, intimement mélangées par le passage d'un rouleau corroyeur à roues cannelées, étaient arrosées par des tonneaux ordinaires à arrosoir circulaire et fortement comprimées par le passage répété du cylindre : on arrêtait le cylindrage lorsque la couche de 0<sup>m</sup>,10 était réduite à 0<sup>m</sup>,05 par la compression. Les couches de

corroi ainsi préparées avaient, au bout de quelques jours, la dureté d'une chaussée d'empierrement et elles étaient parfaitement étanches.

Les cylindres corroyeurs employés étaient du type imaginé et employé au canal du centre par M. E. Résal, ingénieur des Ponts et Chaussées, ancien directeur des travaux de la ville de Lyon.

La description de ces cylindres, d'une conception très ingénieuse, a été donnée dans le numéro 19, 2<sup>e</sup> semestre 1893, des *Annales des Ponts et Chaussées*. Ils ont parfaitement fonctionné pendant plus de trois ans et donné d'excellents résultats. Comme en raison du prix de revient avantageux du corroyage, l'emploi de ces cylindres peut se généraliser dans les grands travaux, nous croyons devoir conseiller dans les applications ultérieures l'emploi de chaudières un peu plus grandes, de caisses à eau plus vastes, d'injecteurs plus puissants et l'adjonction d'un dôme de vapeur. On augmentera un peu le poids du rouleau que l'auteur s'était posé comme condition de maintenir à 7 tonnes, mais on évitera l'abaissement trop rapide du plan d'eau, on activera l'alimentation et on écartera le danger de coups de feu au foyer de la chaudière.

Dans les parties où le rouleau à vapeur ne pouvait accéder ou se mouvoir facilement, on fit usage de petits rouleaux cannelés à traction de chevaux du poids de 600 kilogs à vide et 1.000 kilogs chargés de gravier (pl. V, fig. 8, 9 et 10).

Enfin, pour comprimer des terres très argileuses où le rouleau à vapeur s'enfonçait et patinait par manque d'adhérence, on fit usage d'une machine dite « piétineuse », inventée et construite spécialement pour cet usage par M. Bony, ingénieur, directeur de la maison Pinguely, à Lyon.

*Piétineuse.* — Cette machine est représentée par les figures 3, 4, 5, 6 et 7 de la planche V.

L'idée originale revient à substituer un travail de soulèvement à un travail de roulement.

Deux patins A et B qui forment la partie fondamentale de l'appareil, sont articulés avec deux arbres coudés F et G, qui les portent et qui sont animés tous deux d'un mouvement de rotation dans le même sens. Toutefois, ces arbres sont calés à 180° de telle sorte que le patin A s'élève lorsque le patin B s'abaisse. Il s'ensuit que le poids de la machine repose alternativement sur l'un des deux patins A et B qui piétinent ainsi le terrain en donnant à la machine un déplacement longitudinal.

L'appareil porte à ses extrémités deux paires de roues CC, DD, destinées à le maintenir en équilibre pendant le travail. En effet, le centre de

gravité de la piétineuse se trouvant entre les deux patins A et B et à égale distance des deux, lorsque par suite de la rotation des arbres coudés F et G l'appareil se soulève sur le patin A, une petite partie du poids se trouve supportée par les roues DD. De même, lorsque le patin B s'appuie sur le sol, les roues CC maintiennent la stabilité de l'appareil. La machine reçoit simplement un balancement analogue au tangage.

Les patins piétineurs, suspendus à leur partie supérieure, sont retenus et guidés par les bielles LL, de façon qu'ils restent toujours horizontaux, quelle que soit l'inclinaison du sol.

Pour obtenir un changement de direction de la machine, on oblique l'arbre G par rapport à l'arbre F, en déplaçant, au moyen de la manivelle M, le coussinet H pendant que le coussinet I ne fait que pivoter sous l'arbre vertical K.

La machine proprement dite ne présente rien de particulier. C'est une machine à deux cylindres accouplés à 90° et munie d'un changement de marche. La chaudière a une surface de chauffe de 10 mètres carrés, elle est timbrée à 7 kilogs. La puissance est de 10 chevaux. L'ensemble de l'appareil, en ordre de marche, pèse 7.500 kilogs. Les patins ont une longueur de 1<sup>m</sup>,20, une largeur de 0<sup>m</sup>,35 et par suite une surface de 42 décimètres carrés. Le poids transmis au terrain est donc sensiblement de 1<sup>kg</sup>,78 par centimètre carré.

La piétineuse avait l'inconvénient de ne pas opérer le mélange des terres et de la chaux. Ce mélange était produit au préalable par une herse. Il a été exécuté ainsi 343.000 mètres cubes de corrois, soit avec le cylindre à vapeur ou à chevaux, soit avec la piétineuse.

Le prix de revient de ces corrois, déduction faite du prix d'extraction des terres qui provenaient des déblais du canal, se décompose de la façon suivante par mètre cube :

	CYLINDRE RÉVAL	PIÉTEUSE BONY	ROULEAUX A CHEVAUX
	fr.	fr.	fr.
Reprise et répanage des terres. . . . .	0,35	0,55	0,55
Fourniture et répanage de chaux. . . . .	0,40	0,40	0,40
Mélange des terres et de la chaux. . . . .		0,06	0,05
Arrosage . . . . .	0,05	0,05	0,05
Cylindrage . . . . .	0,20		1,44
Pilonnage . . . . .		0,50	
Réparation et amortissement de matériel . . . . .	0,10	0,04	0,01
Totaux. . . . .	1,30	1,60	2,50



ENTRÉE DU CANAL

2° Une deuxième zone *bde* (1), limitée par une ligne *be* à 45°, recevait les terres de deuxième qualité : argiles trop grasses ou trop maigres, sables fins, terres mêlées de gravier.

Ces terres étaient répandues par couche de 0<sup>m</sup>,40 au plus et tassées par le *ripage* ou déplacement latéral des voies. Sur une épaisseur de 0<sup>m</sup>,40, le passage des trains suffisait à assurer le tassement complet des couches, principalement dans le deuxième lot où circulait le matériel de la voie large et où les digues avaient leur maximum de hauteur.

3° La troisième zone était formée avec les sables et graviers et un léger excédent des terres de deuxième qualité.

Ces remblais, presque incompressibles, étaient répandus par couche de 0<sup>m</sup>,60.

Sur les trois zones, les premières couches avaient été répandues et cylindrées par épaisseur de 0<sup>m</sup>,20, pour amener une bonne liaison du remblai et du terrain naturel.

**Défenses des digues.** — *Musoir d'entrée* (pl. VI). — A l'origine du canal, le cours du Rhône était fixé artificiellement par une digue curviligne en enrochements, qui l'éloignait de la balme. Cette digue a été supprimée et le canal suit, à son entrée, l'ancien lit naturel du Rhône, qui était d'ailleurs resté un bras du fleuve en temps de hautes eaux. De plus, on a créé, dans le prolongement de la dérivation, un chenal en pente de 0<sup>m</sup>,005 par mètre sur une longueur de 500 mètres.

Les eaux, dans un branchement, s'écoulant suivant la plus forte pente, on pourra, par un entretien convenable du chenal, recevoir l'eau dans le canal en quantité suffisante.

Pour diviser le courant et résister à son choc, la digue se termine par un musoir en arc de cercle qui se raccorde, d'un côté, avec le talus intérieur de la digue du canal et se retourne, de l'autre côté, suivant l'ancienne digue en enrochements du Rhône, formant ainsi un épi de protection du talus extérieur de la digue du canal.

Le musoir proprement dit, se compose d'un massif d'enrochements s'élevant jusqu'au niveau des hautes eaux ordinaires. Ces enrochements immergés ont été réglés suivant un talus de 3 pour 1. Ils ont un poids minimum de 50 kilogs comme les enrochements ordinaires du Rhône. Ils se prolongent par des enrochements formant revêtement du talus intérieur de la digue sur une épaisseur variable de 1 mètre à 2 mètres. De l'autre côté, ils se confondent avec les enrochements de l'ancienne digue du Rhône, qui forment la base de l'épi extérieur. A leur partie supérieure, ils réservent une

risberme et sont surmontés d'un revêtement en maçonnerie ordinaire assis par gradins sur le remblai de la digue et élevé jusqu'à la chaussée, c'est-à-dire à 1 mètre au-dessus des plus hautes eaux. Deux rampes d'accès de 6 mètres de largeur chacune, sont ménagées, l'une dans le talus extérieur du canal, l'autre du côté du Rhône sur l'épi extérieur, le halage passant sur la rive droite du Rhône à l'extrémité du canal.

*Plantations. Clayonnages.* — Les talus extérieurs des digues ont été protégés par des osiers dans les parties submersibles et par des acacias au-dessus des hautes eaux ordinaires.

Les talus intérieurs ont été défendus contre la vitesse du courant et l'action des vagues par des moellons, de gros galets et des clayonnages bourrés de gravier (pl. VII, fig. 9).

A l'entrée du canal et le long de la balme, on a fait usage de la défense Villa.

*Défense Villa* (pl. VII, fig. 1 à 8). — La protection Villa, destinée principalement aux berges sablonneuses, consiste en un revêtement du talus au moyen de briquettes de béton de ciment reliées par des fils de fer galvanisés. Ces briquettes forment un rideau flexible qui peut suivre, sans se disloquer, les ondulations du talus.

Les briquettes employées présentent une épaisseur de 10 centimètres et une section variable de forme carrée ou rectangulaire. Elles sont percées chacune de deux ou trois trous de 20 millimètres de diamètre, destinés au passage des fils de fer qui les relient dans le sens vertical; deux feuillures latérales permettent de les assembler par recouvrement dans le sens horizontal. Le béton se compose de 400 kilogs de ciment lent pour 1 mètre cube de sable et gravier compris entre 1,5 et 2 centimètres. Ces briquettes se fabriquent dans des moules de fonte en deux pièces réunies par des boulons à clavette.

La mise en place de ces briquettes s'effectue à la main au-dessus de l'eau; sous l'eau, au moyen d'une machine spéciale dite *Machine Villa*.

La machine Villa est installée sur bateau: un plancher P reçoit sur des fers plats longitudinaux *ff'f''*, les briquettes à immerger. Les fils de fer enroulés sur des bobines *bb'b''* à l'arrière du bateau, sont introduits dans les trous des briquettes et attachés à un liteau en avant du premier rang. On échoue ce premier rang de briquettes en le portant à la main sur le tambour hexagonal T fixé en avant du bateau et mis en mouvement par une manivelle M. Ce premier rang échoué, on tend les fils en les amarrant dans des échancrures pratiquées sur un chariot G mis en mouvement par

une double chaîne sans fin qu'actionne une manivelle M'. On continue l'échouement par groupe de deux rangées : à cet effet, on place, entre la deuxième et la troisième rangée, une règle en fer dépassant de quelques centimètres la largeur du rang. Les butoirs K d'une chaîne simplex cc' actionnée par la manivelle M'', entraînent la règle en fer et les deux premiers rangs de briquettes. On tourne le tambour T : les deux rangées de briquettes viennent se placer sur deux faces consécutives et s'échappent en arrivant à la position verticale. Lorsque toutes les briquettes posées sur le plancher sont échouées, on abaisse une traverse H qui serre les fils sur le plancher, on ramène le chariot G en arrière et on recommence l'opération.

Afin d'amortir la chute des briquettes pendant l'échouement, on a soin d'intercaler, toutes les deux rangées, un liteau percé de trous correspondant à ceux des briquettes.

Pour relier chaque bande échouée à la précédente, on la munit d'un anneau de fer auquel on fixe un fil de fer. On engage ce fil de fer dans un anneau semblable adapté à la bande suivante et on juxtapose les deux bandes en tirant sur ce fil de fer.

**Essai de mise en eau et mise en eau définitive du canal.** — Les digues ainsi construites furent soumises à un premier essai de mise en eau à la fin de l'année 1897.

Cette mise en eau, que précipita une crue inattendue du Rhône, révéla l'existence de deux points faibles dans les digues; l'un à 1<sup>km</sup>,680 en amont de l'usine, au lieu dit La Sucrierie, et l'autre à l'extrémité amont des murs de raccordement de l'écluse double.

Pour arrêter les filtrations sous la digue, on a établi au pied du talus intérieur, sur 2 kilomètres en amont de l'usine et sur 1 kilomètre en aval du réservoir, des murs descendus à 3 mètres au moins au-dessous du sol naturel et en tous points assez bas pour traverser les sables fins.

Ces murs (pl. VII, fig. 10) présentent une épaisseur égale au tiers de la hauteur et un fruit de 1 de base pour 2 de hauteur. Ils sont surmontés d'un revêtement de talus en béton pour éviter des infiltrations au point faible de leur jonction avec le corroi. Ils arrêtent les filtrations et les entraînements en forçant les eaux de siphonnement à passer par-dessous leur base, c'est-à-dire en leur imposant une perte de charge et en les éloignant des couches de sable fin.

Pour diminuer la charge d'eau, on eut soin, en même temps, de remblayer les parties basses et marécageuses du plafond du canal après les avoir débarrassées des herbes, plantes et débris de toute nature. Le remblai



contenait des matières terreuses, de façon à produire le colmatage du fond naturel.

En amont du perré de l'écluse où le corroi avait été traversé à sa jonction avec la maçonnerie, on démolit et on refit le corroi sur toute la partie fissurée, on prolongea le mur de pied jusqu'aux perrés de raccordement de l'écluse, on établit un mur transversal à la digue (pl. VII, fig. 11), relié au corroi par un béton maigre dont le dosage allait en diminuant jusqu'à se confondre avec celui du corroi et, jusqu'à une distance de 500 mètres de l'usine, on recouvrit le talus d'un bétonnage imprégné à la surface de deux couches de coaltar.

Signalons encore, comme un moyen de consolidation efficace fréquemment employé, la construction de drains transversaux en pierres sèches et de petits murs longitudinaux percés de barbacanes au pied extérieur de la digue : on doit en effet, pour la sécurité d'une digue, prendre autant de précautions pour écouler les eaux infiltrées que pour les empêcher de s'infiltrer.

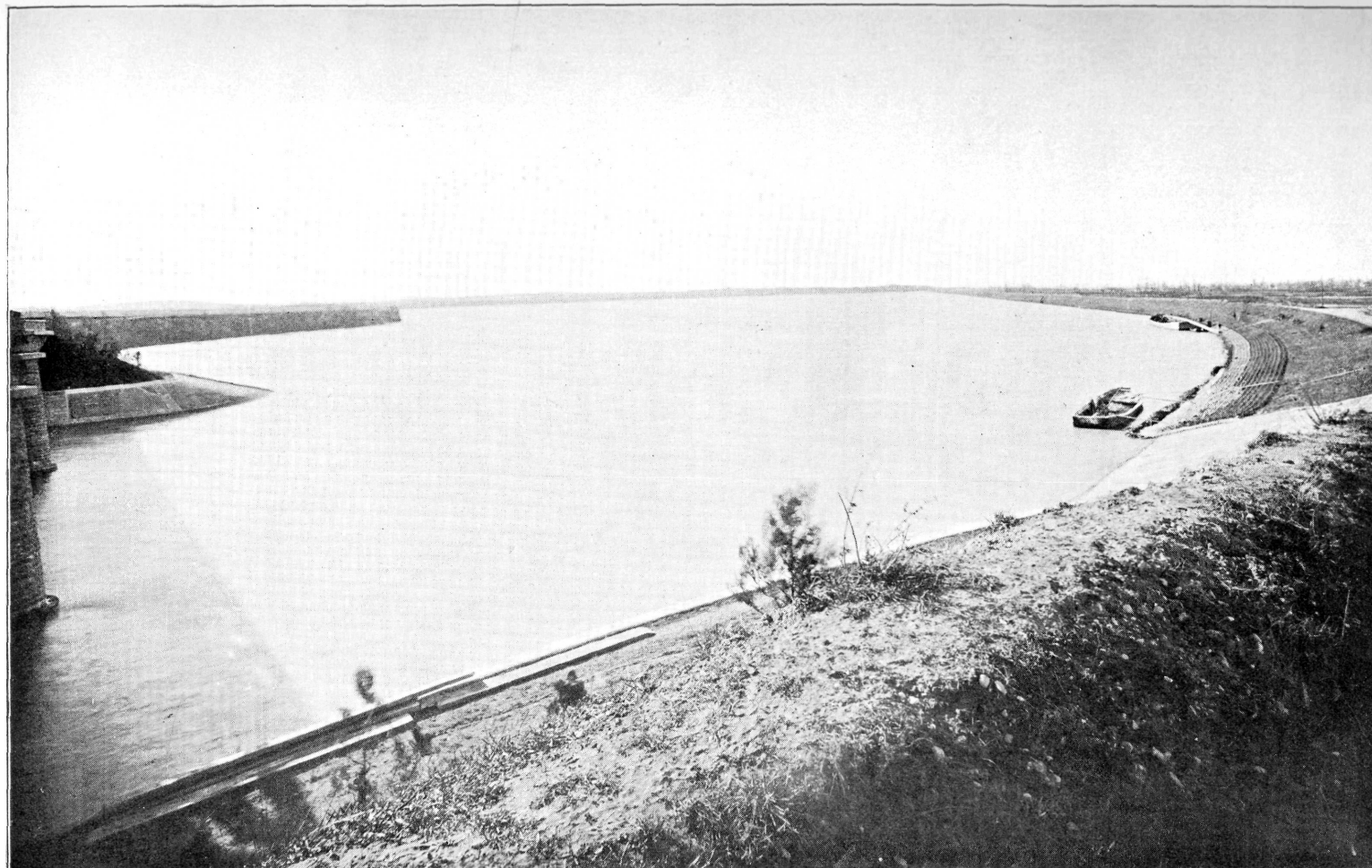
Les digues ainsi renforcées et protégées résistèrent sans mouvement et sans perte d'eau anormale à l'épreuve de la mise en eau définitive de 1898-1899, et maintenant que le colmatage naturel a déposé une couche de matières ténues, les pertes sont insignifiantes relativement au débit du canal.

Ainsi tombe l'objection qui avait trouvé longtemps crédit dans l'opinion publique et d'après laquelle il était impossible de retenir l'eau dans un canal établi sur les alluvions perméables de la vallée du Rhône.

D'ailleurs, afin de hâter le dessèchement des terrains inondés ou simplement humectés en dehors du canal, le fossé latéral dont la proximité pouvait constituer un danger pour la digue, a été éloigné d'au moins 50 mètres et agrandi de façon à suivre les points bas, les anciens fossés et ruisseaux et à servir de collecteur aux eaux de sources et d'infiltration.

**Modifications apportées à la hauteur de la digue entre l'origine du canal et l'ouvrage de garde.** — La crue exceptionnelle du 19 janvier 1899 qui dépassa de 0<sup>m</sup>,65, le niveau maximum connu à l'entrée du canal, montra l'utilité de modifier l'aménagement des digues entre l'origine du canal et l'ouvrage de garde.

A 150 mètres de l'origine, la digue a été dérasée de trois mètres de hauteur sur 1 kilomètre de longueur, de façon à se raccorder avec le terrain naturel de l'île du Milieu et à former digue submersible en temps de hautes eaux (pl. VII, fig. 12). Le profil de la digue comporte simplement



VUE DU RÉSERVOIR COMPENSATEUR DE 150 HECTARES

en cette partie une chaussée maçonnée de 0<sup>m</sup>,50 de hauteur, protégée de chaque côté par un dallage en briques de ciment reliées entre elles par des fils de fer.

Du point 1<sup>km</sup>,200 jusqu'à l'ouvrage de garde, la digue a été surélevée de 0<sup>m</sup>,50 et par suite arasée au niveau du couronnement de ce barrage.

---

## § 2. — OUVRAGE DE GARDE ET DE PRISE D'EAU

L'ouvrage de garde et de prise d'eau au point 5<sup>km</sup>,575 est destiné :

1° A fermer la communication avec le Rhône en cas d'accident ou de réparation.

2° A mesurer le débit des eaux introduites dans le canal et à régler ce débit suivant la hauteur des eaux dans le Rhône et dans le canal.

Cet ouvrage achevé a subi une avarie, à la suite d'une crue du Rhône, le 28 avril 1899. Il a dû être consolidé provisoirement et a donné lieu à une reconstruction.

La cause de cet accident que nous ferons connaître plus loin, étant tout à fait indépendante de la conception et de la construction du premier barrage, nous décrirons cet ouvrage qui n'en reste pas moins intéressant et susceptible d'imitation dans la suite. Nous distinguerons en conséquence l'ancien et le nouvel ouvrage de garde.

### ANCIEN OUVRAGE DE GARDE

**Dispositions générales** (pl. VIII et IX). — Le premier ouvrage de garde consistait en un mur en maçonnerie, de 10<sup>m</sup>,61 de hauteur et de 138<sup>m</sup>,50 de longueur, reposant sur un radier général de 3<sup>m</sup>,50 à 4<sup>m</sup>,00 d'épaisseur. Le barrage était arasé à 1<sup>m</sup>,50 au-dessus des plus hautes eaux prévues. Il présentait 2<sup>m</sup>,50 de largeur en couronne, un parement vertical à l'amont et un fruit variable à l'aval. Une banquette de 1<sup>m</sup>,00, établie à 0<sup>m</sup>,75 au-dessus des plus hautes eaux d'aval, permettait la circulation sur toute la longueur du barrage.

22 ouvertures circulaires munies de vannes étaient pratiquées à la partie inférieure. Elles affectaient la forme d'une tubulure convergente de 3<sup>m</sup>,00 de diamètre à l'entrée se réduisant, à l'intérieur, à 2<sup>m</sup>,50 et reprenant l'ouverture de 3<sup>m</sup>,00 à la sortie.

Des avant-becs cylindriques, à section horizontale ogivale, et des arrière-becs prismatiques à section horizontale rectangulaire, renforçaient le mur à la base et formaient les entrées et sorties des chambres des vannes. Des rai-

nures étaient pratiquées dans ces avant et arrière-becs pour recevoir des poutrelles de batardeau et isoler les chambres en cas d'avarie et de réparation.

**Conditions de résistance.** — On avait calculé l'ouvrage en reportant les poussées sur les piles ou parties de mur correspondant aux arrière-becs et en négligeant la résistance des avant-becs.

Dans les conditions les plus défavorables, l'ouvrage résistait avec un coefficient minimum de stabilité de 1,91 et des pressions maxima de 3<sup>kg</sup>,94 par centimètre carré sur les maçonneries.

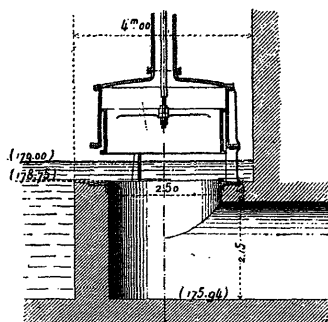
**Nature des maçonneries.** — Le radier de l'ouvrage était en béton ; le mur proprement dit, en maçonnerie de moellons bruts à l'intérieur et en maçonnerie de moellons têtus à l'extérieur. Les mortiers étaient en chaux hydraulique du Teil. Toutefois, sur une épaisseur de 1<sup>m</sup>,00 à partir de l'intrados des chambres, la maçonnerie était faite en petits matériaux avec mortier de ciment et recouverte d'un enduit de ciment.

**Vannes** (pl. X, fig. 1, 2 et 3). — Les vannes employées étaient des vannes de fonte circulaires, bombées, de 3<sup>m</sup>,00 de diamètre. La flèche était de 0<sup>m</sup>,40, l'épaisseur de 0<sup>m</sup>,03. Le pourtour circulaire de la vanne se raccordait latéralement avec un cadre rectangulaire dont les côtés glissaient dans des rainures fixées au mur par des ancrages. Il était muni intérieurement d'un anneau de bronze qui reposait sur un siège de même métal : le glissement se produisait au contact de ces deux plaques. La vanne portait à la partie supérieure un renflement qui donnait passage à une tige de raccord à écrou.

La forme circulaire bombée avait été préférée à la forme rectangulaire plane pour sa plus grande résistance qui permettait une diminution du poids de la vanne et par suite de l'effort de soulèvement, mais elle a présenté avec la fonte plusieurs inconvénients : les vannes qui pesaient 2.700 kilogs étaient des pièces fragiles, se cassant facilement sous un choc au montage ou à la manœuvre ; elles présentaient une partie inférieure *mnp* en porte-à-faux (fig. 2) qui s'est brisée dans plusieurs vannes sous le choc ou la pression de l'eau. On a été conduit à renforcer cette partie et finalement à ne plus se servir de ces vannes qu'entièrement levées ou entièrement baissées. C'était là un défaut grave : aussi ce type de vanne ne saurait-il être reproduit sans modification.

Avant de l'adopter, on avait pensé au système de vannes cylindriques

Fontaine dont le principe a été exposé dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (août 1886) et dont il a d'ailleurs été fait plusieurs applications au canal de Jonage. On l'a rejeté parce qu'on était conduit à établir le seuil de la



(2)

vanne à 0<sup>m</sup>,25 seulement au-dessous de l'étiage supposé (2). Il en résultait un grand nombre de vannes et une grande longueur de barrage. Ce sont là d'ailleurs des circonstances locales et si l'étiage eût été seulement 1<sup>m</sup>,00 plus haut, les vannes cylindriques auraient parfaitement convenu. Si donc des ouvrages analogues devaient être construits dans la suite, les mêmes circonstances ne se rencontrant sans doute pas, les vannes cylindriques pourraient présenter tout avantage, tant au

point de vue de la simplicité de l'installation qu'au point de vue de la rapidité des manœuvres.

*Manœuvre des vannes.* — On avait compté que sur les 22 vannes de l'ancien ouvrage de garde, 14 ne seraient manœuvrées que sous une charge inférieure à 1<sup>m</sup>,00 et 8 seulement sous toutes les charges. De là deux dispositifs : un dispositif de manœuvre à bras, un dispositif de manœuvre hydraulique.

*Manœuvre à bras* (pl. X, fig. 1 et 2). — L'appareil de manœuvre à bras consistait en un simple cric à roues et pignons d'acier, agissant sur une crémaillère reliée à la vanne par une tige creuse en fer étiré.

*Manœuvre hydraulique.* — L'appareil de manœuvre hydraulique a été imaginé par M. Agnès, ancien élève de l'école centrale. Il était soigneusement étudié et a donné toute satisfaction. La partie de l'ancien ouvrage correspondant aux vannes à manœuvre hydraulique ayant été conservée, ces vannes continuent d'ailleurs à être mises en service.

L'appareil de manœuvre hydraulique (pl. X, fig. 4 et 5) consiste en un cylindre de fonte, de 500 millimètres d'alésage et de 3<sup>m</sup>,25 de longueur, dans lequel se déplace un piston ordinaire à double effet. Une tige pleine en acier, de 80 millimètres de diamètre, relie le piston à la tige de la vanne. Une pompe de compression, mue par une turbine, refoule l'eau d'un réservoir dans une conduite d'amenée mise en communication alternativement avec la partie haute et la partie basse du cylindre, tandis que simultanément

ment, une conduite de refoulement, mise en communication avec la partie basse et la partie haute du cylindre, ramène cette eau au réservoir.

Le piston est rendu étanche par deux cuirs emboutis tournés en sens contraire, maintenus par deux anneaux de garde à l'aide de boulons. Un segment de bronze nettoie à chaque course l'intérieur du cylindre, de façon à enlever la petite couche de rouille qui pourrait se former et produire l'usure des cuirs. Une chaîne fixée à la vanne et équilibrée par un contre-poids se déplace dans des poulies à gorge fixées à la partie supérieure du cylindre. Elle entraîne avec elle un index qui indique, le long d'une règle graduée, la hauteur de montée de la vanne.

L'appareil de distribution (pl. X, fig. 6, 7 et 8) consiste en une boîte de fonte et 4 soupapes  $aa'$   $bb'$  (3), (4) et (5). Le logement de chacune des soupapes est un cylindre vertical, divisé en deux parties par une saillie intérieure formant siège de la soupape. Les soupapes sont à ressort à boudin en acier, à tige et disque de bronze. Une conduite  $c$ , ménagée dans la fonte, réunit la partie supérieure du logement  $a$  à la partie inférieure du logement  $b$ . Une autre conduite  $c'$  réunit la partie inférieure du logement  $a'$  à la partie supérieure du logement  $b'$ . Un tuyau T, branché sur la conduite  $c$ , la fait communiquer avec le haut du cylindre; un tuyau T', branché sur la conduite  $c'$ , la fait communiquer avec le bas du cylindre.

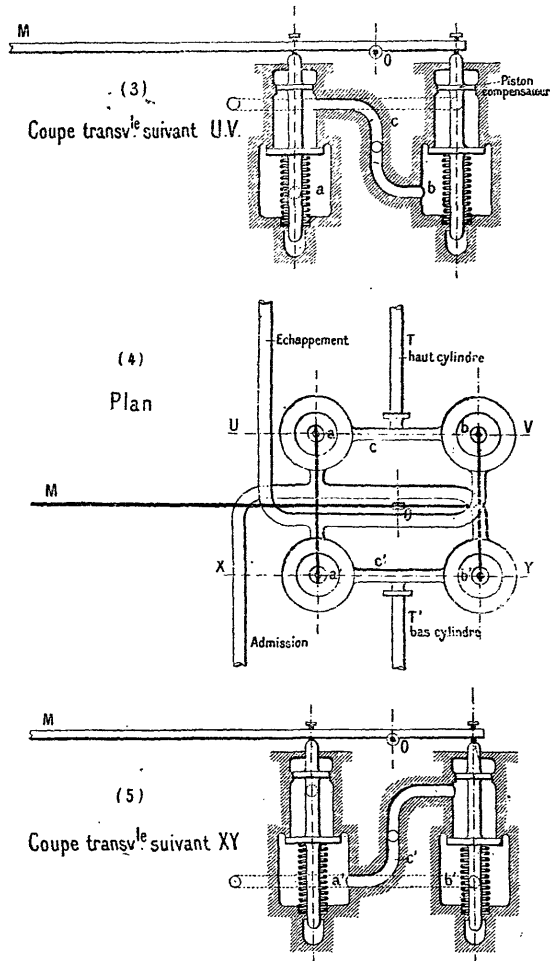
Par le jeu d'un levier à quatre bras  $aa'$   $bb'$ , mobile autour du point O, les deux soupapes  $aa'$  sont ouvertes ou fermées quand les deux soupapes  $bb'$  sont fermées ou ouvertes.

Le fonctionnement de l'appareil se comprend de lui-même. Si l'on agit sur le levier O en relevant l'extrémité M, les deux soupapes  $aa'$  sont fermées, les deux soupapes  $bb'$  sont ouvertes. L'admission se produit à la partie inférieure du cylindre par la soupape  $b'$ , l'échappement se fait de la partie supérieure par la soupape  $b$ . Si l'on abaisse l'extrémité M du levier, les deux soupapes  $aa'$  s'ouvrent, les deux soupapes  $bb'$  se ferment : l'admission se fait à la partie inférieure du cylindre par la soupape  $a$ , l'échappement se produit de la partie supérieure du cylindre par la soupape  $a'$ .

On se rend compte que l'eau, pour s'échapper, tend à fermer les soupapes, ce qui empêche la vanne soulevée de descendre d'elle-même : pour éviter qu'à l'admission, l'eau, pénétrant brusquement, n'occasionne des coups de bélier, les bras de levier sont munis de vis de réglage qui permettent de donner un peu d'avance à l'admission, de façon à mettre le cylindre en pression avant d'agir sur le levier.

Lorsque la vanne est levée et la pression de l'eau motrice supprimée dans la conduite sous pression, la soupape d'admission correspondant à la

montée de la vanne serait sollicitée à descendre par son poids, le poids de la vanne et du piston. Pour parer à cet inconvénient, la tige de la soupape est munie d'un piston compensateur de 45 millimètres de diamètre qui équi-



libre en grande partie la pression de la soupape ; de plus, ce piston, garni de cuir embouti, forme joint étanche autour de la portion de tige qui sort à l'extérieur. Une pompe de refoulement, mise en mouvement par une petite turbine de 5 chevaux, puise l'eau dans un réservoir en tôle : puisée et



refoulée, l'eau revient au réservoir par la conduite d'échappement. L'hiver, l'eau est additionnée de 40 p. 100 de glycérine pour former un mélange qui ne se congèle qu'à 15° au-dessous de zéro.

**Bâtiment pour le logement des appareils hydrauliques (pl. VIII).** — Les appareils d'eau sous pression sont installés dans un bâtiment attenant à l'écluse, à l'extrémité de l'ancien ouvrage de garde. Ils alimentent non seulement les conduites des vannes hydrauliques de l'ancien ouvrage, mais aussi et surtout, comme nous le verrons plus loin, les conduites des vannes de l'ouvrage définitif pourvues de la manœuvre hydraulique.

Le bâtiment des appareils hydrauliques est à trois étages : l'étage inférieur forme le logement de la turbine et de son canal de fuite ; l'étage intermédiaire reçoit la pompe de refoulement et le réservoir d'eau ; l'étage supérieur sert de magasin et d'abri pour le barragiste.

**Raccordements de l'ouvrage de garde avec ses abords.** — Le barrage se terminait, rive droite, au bajoyer de l'écluse ; rive gauche, il se raccordait avec les talus de la balme sur une longueur de 50 mètres à l'amont et à l'aval par des murs et des perrés d'inclinaison variable.

Ces murs qui subsistent en grande partie (pl. XI, fig. 2 et 3) étaient assis, en général, sur un corroi ou béton maigre composé de sable et gravier avec addition de 50 kilogrammes de chaux hydraulique par mètre cube de tout venant, arrosé, malaxé et pilonné par le passage du cylindre à cannelures. Ce corroi, d'épaisseur variable suivant l'inclinaison du revêtement, reposait lui-même sur le sol naturel ou sur un remblai pilonné à refus.

Les murs et perrés de raccordement étaient formés d'une maçonnerie mixte de moellons bruts et de béton. La maçonnerie de moellons bruts se composait de chaînes horizontales de 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur moyenne, distantes verticalement de 2<sup>m</sup>,50, et de chaînes verticales de 1 mètre de largeur distantes, en général, de 5 mètres d'axe en axe. Le béton était coulé dans les rectangles du quadrillage ainsi formé. L'épaisseur des maçonneries et du béton était variable suivant l'inclinaison des talus qu'ils recouvraient. Elle était minima et égale à 0<sup>m</sup>,40 pour l'inclinaison de 3 de base pour 1 de hauteur.

Les murs et perrés de raccordement étaient ancrés dans le sol de fondation et présentaient des risbermes comme les talus du canal. Ils se prolongeaient à l'amont par des talus de béton d'une épaisseur uniforme de 0<sup>m</sup>,20 sur une longueur de 40 mètres.

Enfin, aux extrémités des revêtements amont et aval, le chemin de contre-halage était formé sur 5 mètres de longueur et sur toute sa largeur par des terres à corrois, véritables petits barrages destinés à arrêter les filtrations longitudinales.

**Travaux de protection aux abords de l'ouvrage de garde.** — Avec la nature du sol (sable et gravier d'alluvions) sur lequel reposait l'ouvrage de garde, le danger des filtrations était à craindre et à prévoir. Sous une différence de niveau qui ira jusqu'à 8 mètres en temps de plus hautes eaux, les filtrations pouvaient produire des entraînements de sable fin et causer des affouillements sous les fondations.

Pour protéger le barrage de garde, on a tout d'abord établi, au fond du canal et contre les talus, un bétonnage sur 83<sup>m</sup>,15 à l'amont et 150<sup>m</sup>,40 à l'aval (pl. XI, fig. 1).

Plus tard, après l'expérience de la mise en eau de 1897, bien que ce bétonnage ait résisté aux sous-pressions et empêché les entraînements, on fut conduit, d'après les résultats constatés à l'usine-barrage dans des terrains de même nature, à établir, immédiatement à l'aval de la fondation, un mur garde-radier descendu jusqu'aux marnes compactes imperméables, à 10 mètres de profondeur au-dessous du plafond (pl. IX, fig. 1).

C'est ce garde-radier que les eaux ont contourné du côté de la balme lors de l'accident du 28 avril 1899.

**Bétonnage** (pl. XI, fig. 1, 2 et 3). — Le bétonnage qui protège le nouvel ouvrage comme l'ancien, devait rendre étanche la cuvette du canal sur une longueur suffisante pour faire perdre leur charge aux eaux de filtration d'amont et les empêcher de sourdre à l'extrémité aval avec une vitesse susceptible de produire des entraînements.

Aucune formule pratique ne permet de déterminer sûrement cette longueur : aussi, pour la fixer, le mieux est-il de se laisser guider par le sentiment en prenant en considération la charge d'eau et la perméabilité du sol.

Le bétonnage du fond présente 0<sup>m</sup>,20 d'épaisseur et tous les 10 mètres il est ancré de manière à former des garde-radiers, de 0<sup>m</sup>,50 de largeur et 0<sup>m</sup>,50 de profondeur, destinés à éloigner les courants souterrains du dessous de la fondation : dans le même but, les garde-radiers extrêmes et un garde-radier intermédiaire sont formés d'un mur vertical d'environ 2 mètres de hauteur et 0<sup>m</sup>,80 de largeur.

Pour assurer l'étanchéité du bétonnage lui-même, on l'a recouvert d'une couche d'asphalte pur, de bitume factice ou de coaltar.

Les asphaltes purs se composaient de 8 parties de bitume raffiné pour 100 parties de mastic asphaltique.

Le bitume factice était formé de 9 kilogrammes de brai de gaz sec, 3 litres et demi de chaux grasse éteinte en poudre et 25 litres de petits graviers siliceux de 0 à 15 millimètres.

Le coaltar était employé tel qu'il sortait des usines à gaz ; toutefois, il était chauffé et appliqué sur des surfaces lisses bien sèches. Suivant le degré d'étanchéité qu'on voulait obtenir, on en appliquait deux ou trois couches. Le coaltar, en pénétrant dans les vides du béton et du mortier, les remplit et en diminue notablement la porosité.

*Mur garde-radier* (pl. IX, fig. 1). — Ce mur, descendu à 10 mètres au-dessous du plafond du canal, devait avoir pour effet de gêner la propagation des courants en leur opposant un siphonnement. En exécution, on rencontra, sur la plus grande partie de la longueur de la fondation, une couche de marne bleue ; sur une longueur de 47 mètres seulement du côté de l'écluse, les caissons reposent sur une couche d'argile jaune.

Établi à l'extrémité aval de la fondation de l'ouvrage de garde, ce mur fut fondé à l'air comprimé à l'aide de 6 caissons perdus de 3<sup>m</sup>,50 de largeur et d'une longueur variable de 21<sup>m</sup>,80 à 16<sup>m</sup>,80. Ces caissons furent montés sur place, le canal à sec.

Nous n'entrerons pas dans le détail de cette construction parce qu'elle fut analogue à celle du garde-radier de l'usine qui sera décrit plus loin et qui présenta, de plus, des difficultés d'échouage. Nous dirons seulement que l'on fit usage de caissons rivés offrant plus de rigidité que les caissons boulonnés, employés à l'usine-barrage en vue de la rapidité d'exécution.

Le service des matériaux était fait par une voie installée sur la passerelle aval du mur de garde. Un plan incliné établissait la communication avec la rive gauche et une machine fixe remontait les wagonnets à l'aide d'un câble.

**Accident survenu le 28 avril 1899. — Consolidation provisoire de l'ouvrage de garde.** — Le 28 avril 1899, sous l'influence d'une crue du Rhône de 4 mètres au-dessus de l'étiage et d'une différence de niveau de 5 mètres entre l'amont et l'aval du mur de garde, les eaux se sont infiltrées sous l'ouvrage à son extrémité (rive gauche) en contournant le mur garde-radier et se sont créé une issue au pied du perré d'aval. Il en est résulté des entraînements de sable et de gravier, la dislocation du perré, une fissure horizontale sur les deux tiers environ de la longueur du mur : en même

temps, les avant-becs d'amont se sont détachés, indiquant un courant souterrain longitudinal et des affouillements de la fondation.

Le garde-radier s'arrêtait au dernier arrière-bec et, au delà, le sol était chargé par un massif de maçonnerie surmonté d'un perré. C'est cette protection qui a été insuffisante. Les voies d'eau se sont produites à 6 mètres environ du dernier caisson.

Huit vannes suffisant aux besoins provisoires de l'exploitation du canal, on résolut de suite de contrebuter l'ouvrage, dans la partie menacée, par un remblai à l'amont et à l'aval (pl. XI, fig. 4).

L'ancien ouvrage, dans la partie menacée, s'est trouvé ainsi remplacé provisoirement par un barrage en terre renforcé intérieurement par un massif de maçonnerie.

### NOUVEL OUVRAGE DE GARDE

Les causes et les effets de l'accident du 28 avril 1899, ont conduit à substituer un ouvrage entièrement neuf à l'ancien.

L'ancien ouvrage cédant par sa fondation, il aurait fallu, en effet, pour le restaurer, reconstruire complètement la partie endommagée dans des conditions dangereuses, difficiles et coûteuses.

L'insuffisance du garde-radier que les eaux venaient de contourner, appelait de nouveaux travaux de protection, tant du côté de la balme que du côté de l'écluse et les besoins du service de l'exploitation exigeaient qu'en toute éventualité on pût utiliser la partie non remblayée du barrage.

De là, deux catégories bien distinctes de travaux formant un seul et même ouvrage de garde :

- 1° De nouveaux travaux de protection ;
- 2° Un nouveau barrage.

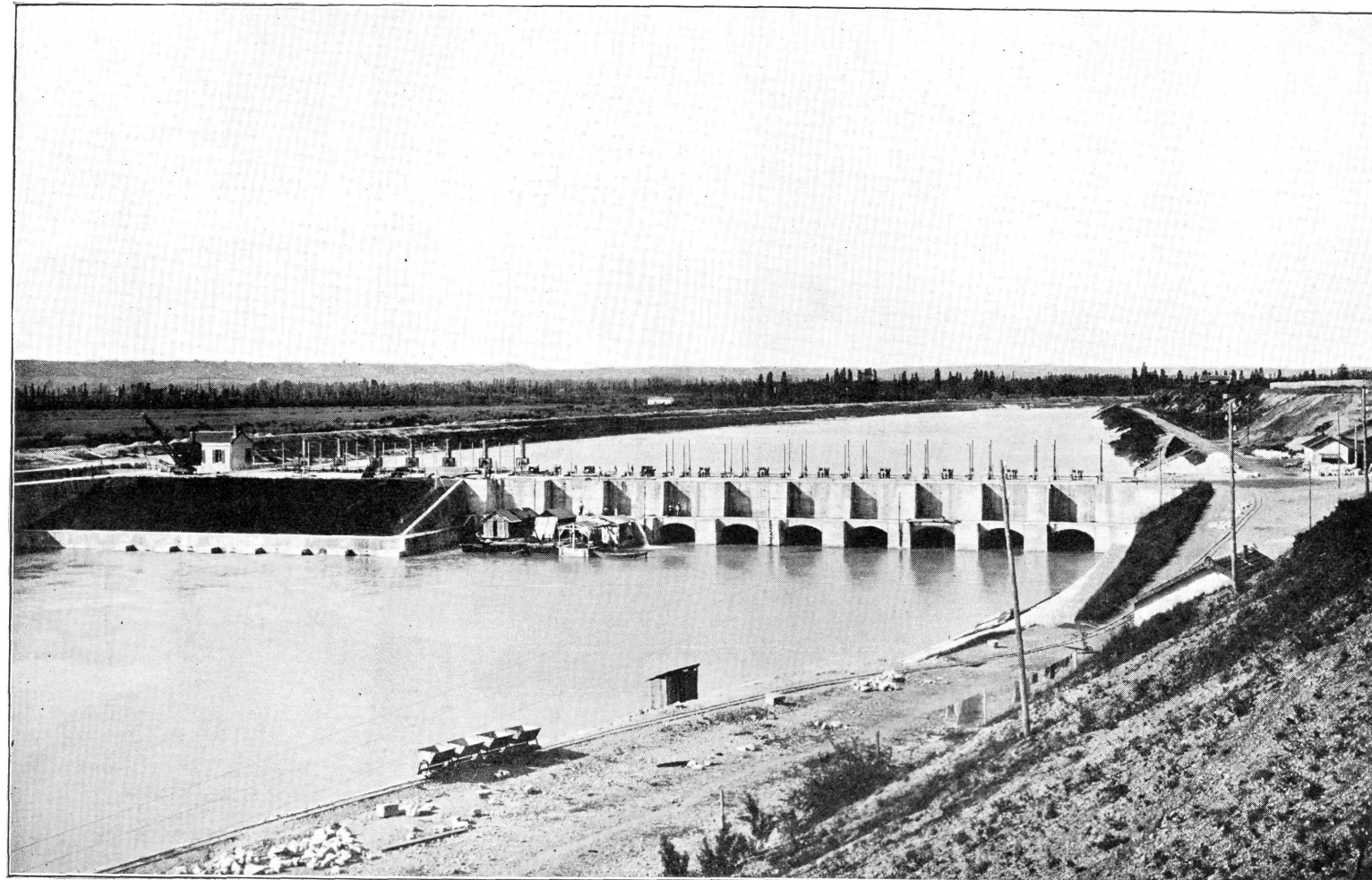
### NOUVEAUX TRAVAUX DE PROTECTION

Les nouveaux travaux de protection ont eu pour but :

1° D'arrêter les courants qui se sont produits du côté de la balme et d'en empêcher la production du côté de l'écluse.

2° De substituer un nouveau mur et un nouveau vannage à la partie conservée de l'ancien ouvrage, au cas où cette partie intacte aurait été, à son tour, endommagée ou menacée.

Comme précédemment, on s'est proposé dans ces travaux de protection



VUE D'AVANT DU NOUVEL OUVRAGE DE GARDE

de charger le sol d'un massif de maçonnerie ou de remblai d'une longueur suffisante pour faire perdre aux eaux de filtration toute leur charge dans la traversée souterraine qui correspond à ce massif.

On s'est laissé guider, dans la détermination de cette longueur, par l'exemple de barrages provisoires, établis pendant la construction sur des terrains de même nature qui ont résisté sans perte sensible aux plus fortes crues.

Les nouveaux travaux de protection ont consisté essentiellement (pl. XII) :

a) *Du côté de la balme.* — Dans le prolongement et l'ancrage du garde-radier dans la balme.

Le prolongement comporte l'enfoncement de deux caissons supplémentaires d'une longueur totale de 30 mètres. Les nouveaux caissons sont descendus comme les précédents jusqu'aux couches de marne bleue, ils sont surmontés d'un mur en béton élevé jusqu'à la hauteur du barrage et noyé dans un terre-plein. Ce mur qui se raccorde, comme nous le verrons plus loin, à la culée du nouveau barrage, opposera une barrière à la propagation directe des courants souterrains ou leur imposera, par son contournement, une perte de charge que l'expérience des barrages provisoires permet de considérer comme bien suffisante.

b) *Du côté de l'écluse.* — 1° Dans la construction d'un mur de retenue d'une longueur de 49<sup>m</sup>,34 ;

2° D'un massif de béton à l'aval du mur d'une longueur de 32<sup>m</sup>,50 ;

3° De six conduites traversant le mur et le massif de béton ;

4° D'un remblai adossé au mur au-dessus des conduites ;

5° De vannes adaptées au mur de retenue à la tête amont des conduites.

**Mur de retenue et massif de béton** (pl. XII et pl. XV, fig. 6 et 7). — Le mur repose sur les caissons du garde-radier, c'est-à-dire sur une fondation inaffouillable. Il s'appuie, d'un côté, contre l'écluse et se raccorde, de l'autre, avec la culée du nouveau barrage. Il est relié à la partie intacte et conservée de l'ancien ouvrage par un mur en retour qui forme prolongement de la culée du nouveau barrage. Il s'élève à la hauteur du premier ouvrage et présente une épaisseur constante de 3<sup>m</sup>,50 (largeur des caissons). Il est construit en béton de ciment.

À l'aval de la retenue, un massif en béton, de 32<sup>m</sup>,50 de longueur et de 3<sup>m</sup>,50 de hauteur, charge le sol et réduit la poussée des terres contre le mur.

Le mur est plein sur la longueur correspondant aux deux premières

vannes de l'ancien ouvrage. Au delà, il est traversé, ainsi que le massif de béton, par six conduites correspondant aux chambres de sortie d'eau du premier barrage.

On a jugé prudent de condamner les deux premières vannes, pour réaliser rapidement une protection le long de l'écluse, en coulant un massif de béton de 11 mètres de largeur et de 1<sup>m</sup>,60 de hauteur au pied du bajoyer.

Dans le même but, ce massif a été poursuivi jusqu'au contrefort de la porte aval de l'écluse, soit sur une longueur totale de 80<sup>m</sup>,20.

**Conduites** (pl. XV, fig. 6, 7 et 8). — Les conduites, de forme ovoïde, présentent un diamètre horizontal de 3<sup>m</sup>,50 et un diamètre vertical de 2<sup>m</sup>,85.

Pour éviter le tassement d'un sous-sol de résistance inégale, on a réalisé la solidarité des différentes parties d'une même conduite et du massif en béton, à l'aide d'une enveloppe intérieure en ciment armé, véritable tuyau capable de résister par lui-même au poids du remblai qui le surmonte.

Ces tuyaux présentent 0<sup>m</sup>,14 d'épaisseur; le dosage du béton est de 600 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable et gravier passé à l'anneau de 0<sup>m</sup>,02. La disposition de l'armature métallique est empruntée à l'aqueduc d'Achères. Les directrices, cintrées suivant la forme de la conduite, sont formées de barres d'acier rond de 0<sup>m</sup>,015 de diamètre et sont espacées entre elles de 0<sup>m</sup>,110 d'axe en axe. Elles reçoivent des génératrices formées de fers ronds de 0<sup>m</sup>,008 de diamètre, également espacées de 0<sup>m</sup>,110 d'axe en axe.

Ces conduites ont été contruites à sec sur un sol parfaitement nettoyé et aplani. A cet effet, on a commencé par couler dans l'eau, à l'intérieur de coffrages, les batardeaux en béton *a b c d* (fig. 7) qui font partie du massif général et l'on a fermé l'enceinte, à l'amont, avec les vannes de l'ancien ouvrage, à l'aval, avec un coffrage provisoire bourré de gravier.

Un enduit intérieur de 0<sup>m</sup>,02 d'épaisseur protège les parois des conduites contre l'érosion des eaux. Toutefois, au lieu de revêtir le radier d'un enduit ordinaire, on l'a renforcé par une couche de béton de 0<sup>m</sup>,15 d'épaisseur composé de 600 kilogrammes de ciment par mètre cube de petit gravier passé à l'anneau de 5 millimètres; à l'aide d'un fort pilonnage, on a fait refluer le mortier et l'on a réalisé une surface lisse qui permet de supprimer l'enduit. Par mesure de prudence, sur une longueur de 7 mètres à partir de la tête amont des conduites, on a de plus protégé le radier par des tôles reliées à l'armature métallique. Ces précautions, particulières au radier, ont été motivées par la difficulté où l'on s'est trouvé, sous l'influence des sous-pressions, de faire à sec des enduits biens adhérents.

A l'aval des trois conduites de rive droite, l'ancien bétonnage du canal est renforcé par un dallage en béton de ciment de 0<sup>m</sup>,15 d'épaisseur à l'intérieur duquel est noyé un grillage ondulé ; à son extrémité, ce dallage est lui-même protégé par des enrochements rejointoyés au ciment (fig. 6).

A l'emplacement et à l'aval des trois conduites de rive gauche, l'ancien bétonnage, assis sur un sol moins résistant, a été refait avec 0<sup>m</sup>,75 d'épaisseur et recouvert d'un enduit de ciment.

**Remblai adossé au mur au-dessus des conduites** (pl. XV, fig. 6). — Le remblai qui surmonte les conduites est élevé à la hauteur du mur de retenue. Il présente 9 mètres de largeur en couronne et un talus d'environ 4 pour 1. A sa base, il s'appuie contre le mur de tête aval des conduites et réserve, pour la circulation, une plate-forme ou un quai de 4 mètres de largeur. Latéralement, il est soutenu, d'un côté, par le bajoyer de l'écluse, de l'autre, par la culée du nouveau barrage et par un mur en aile qui suit son inclinaison.

Une chemise de pierres sèches ou de galets est interposée entre le remblai et les murs contre lesquels il s'appuie.

**Vannes du mur de retenue** (pl. XVI). — Les vannes qui règlent le débit des conduites sont des vannes d'acier de forme rectangulaire. Elles ont 3<sup>m</sup>,47 de hauteur et 4 mètres de largeur.

Elles sont constituées essentiellement par deux montants latéraux en forme de double T, renforcés de cornières et réunis par des entretoises ou armatures horizontales également en double T. Ce cadre est recouvert, à l'amont, par un bordage en tôle de 10 millimètres.

Chaque vanne s'appuie sur un seuil en fer noyé dans la maçonnerie.

Le glissement se produit au contact de deux plaques de bronze ; l'une de ces plaques est fixée au montant de la vanne, l'autre sur un fer à double T appliqué contre le mur et boulonné à des consoles de fonte. Ces consoles fixées au mur par des tirants d'ancrage, servent aussi de guidages à la vanne dans ses mouvements.

Les deux montants verticaux du cadre de guidage sont réunis par une traverse horizontale et deux équerres d'assemblage à la partie supérieure de la conduite. La vanne glisse sur la traverse et les équerres, au contact de plaques de bronze. Les équerres rachètent insensiblement, dans la descente, la déformation que la vanne peut subir sous la pression de l'eau ; sans elles la vanne, prenant une flèche, buterait dans sa descente contre la plaque de la traverse horizontale.



Les vannes sont suspendues à des tiges filetées, manœuvrées de la partie supérieure du mur par deux systèmes parallèles de vérins et de roues d'angle. Les mouvements sont transmis par un arbre horizontal portant deux pignons d'angle et assurant la liaison intime des deux systèmes. Cet arbre appartient à un treuil qui porte deux systèmes d'engrenages répondant à deux vitesses différentes d'élévation ou de descente, suivant la charge d'eau. La place est réservée, en cas de besoin, pour l'engrenage d'une troisième vitesse.

La manœuvre de ces vannes peut se faire à bras, sous toutes les charges, par deux ou par quatre hommes.

La durée de manœuvre est d'environ trois heures avec quatre hommes, dans le cas des plus hautes eaux; mais on peut, en cas d'urgence, réduire considérablement cette durée en remplaçant la manœuvre à bras par la manœuvre mécanique. A cet effet, une grue à vapeur se déplaçant sur une voie ferrée, tout le long du barrage, peut actionner l'arbre de commande du treuil de manœuvre par l'intermédiaire de roues dentées et d'une chaîne Galle. De plus, si le besoin s'en fait reconnaître, on pourra, plus tard, munir chacune des vannes des conduites, de moteurs hydrauliques analogues à ceux qui seront décrits plus loin.

**Chambres intermédiaires et batardeaux constitués par la partie conservée de l'ancien ouvrage de garde.** — Les conduites et les vannes dont nous venons de parler, faisant partie d'un ensemble de travaux définitifs de protection, sont destinées à subsister.

Les chambres et les vannes correspondantes de l'ancien ouvrage de garde subsistant également, tiendront lieu de batardeaux pour isoler les conduites en cas d'avarie ou de réparation (pl. XV, fig. 6). Le double système de vannes permettra aussi, en temps de hautes eaux, de créer une chambre intermédiaire entre l'amont et l'aval, autrement dit, de diviser la chute en deux parties, par suite de diminuer la vitesse d'écoulement sous les vannes et dans les conduites.

**Appoint de section apporté par les conduites à l'ouvrage définitif.** — Les conduites, au moment des plus basses eaux, apporteront au nouvel ouvrage le même supplément de section que les six vannes conservées de l'ancien ouvrage, soit 24<sup>m</sup>, 30.

#### NOUVEAU BARRAGE

**Description.** — La facilité avec laquelle s'étaient créés les courants de filtration et les entraînements du sous-sol, démontrait qu'on ne pouvait

établir avec sécurité le nouveau barrage qu'en descendant ses piles jusqu'à la marne compacte ou en le construisant à l'intérieur d'une enceinte de caissons descendus jusqu'à cette couche imperméable.

C'est cette seconde solution qui a été adoptée parce qu'elle réalisait, à la fois, la protection des piles et du radier et qu'elle facilitait la construction en permettant les épaissements.

Le nouveau barrage est construit à l'aval du mur garde-radier de l'ancien ouvrage (pl. XII et XIII).

Limité, rive droite, par le mur et le remblai de protection de l'écluse, il l'est, à gauche, par la balme laissée intacte. Il repose sur un radier général en béton et se compose de neuf piles et de deux culées, surmontées par des voûtes légèrement surbaissées qui déterminent dix travées de 4<sup>m</sup>,95 d'ouverture chacune. A l'amont, les travées sont fermées, au-dessus de la cote 179,00 (0<sup>m</sup>,80 au-dessus des plus basses eaux connues), par des poutres fixes en ciment armé réunissant deux à deux les piles et les culées. Au-dessous des poutres fixes, des vannes déterminent à volonté la section d'écoulement.

Le radier est en béton de chaux hydraulique.

Toutes les maçonneries en élévation sont en béton de ciment.

*Enceinte des caissons.* — L'enceinte des caissons est de forme rectangulaire (pl. XII et pl. XV, fig. 1).

Elle présente intérieurement 72 mètres de longueur et 9<sup>m</sup>,50 de largeur. Elle utilise, comme côté amont, le garde-radier de l'ancien ouvrage et comporte, comme côté aval, 3 caissons de 20 mètres de longueur et 1 caisson de 12 mètres. Les caissons de retour font saillie sur le côté aval pour diriger les courants de filtration, s'il s'en produit, et les éloigner du radier qui fait suite à l'ouvrage.

Les nouveaux caissons ont une largeur de 4 mètres. Ils ont été descendus à 10 mètres de profondeur, environ, au-dessous du plafond du canal, de façon à reposer sur la couche de marne bleue qu'indique la coupe géologique du premier garde-radier (pl. XIII, fig. 1).

Les caissons, dans la descente, glissaient l'un sur l'autre au contact de pièces de bois maintenues entre deux cornières (pl. XV, fig. 9). Le vide était soigneusement fait entre les parois ; le joint, à la fin de la descente, était rempli de béton de ciment.

*Radier* (pl. XV, fig. 1). — Le radier présente une épaisseur uniforme de 2<sup>m</sup>,50. Les fouilles et le béton ont été exécutés, à sec, par épaissements, à l'intérieur de l'enceinte des caissons et à l'abri de batardeaux formés

de hausses métalliques maintenues en place par des chevalets en bois (fig. 10 et 11).

Pour résister à la vitesse de l'eau, le radier (fig. 12 et 13), sur 0<sup>m</sup>,30 d'épaisseur, a été formé de béton de ciment au dosage de 400 kilogrammes de ciment par mètre cube de gravier passé à l'anneau de 1 centimètre. Sur 2<sup>m</sup>,50 à l'amont et 3 mètres à l'aval des vannes, on a protégé ce radier par un grillage, en fers plats de 100/8, noyé dans le béton de ciment. Sur la même longueur et sur 1<sup>m</sup>,50 de hauteur, les parements des piles sont protégés par des grillages semblables noyés dans du béton de même composition.

*Piles* (pl. XV, fig. 1, 3 et 5). — Les piles présentent 2<sup>m</sup>,50 de largeur et une longueur totale de 19<sup>m</sup>,25, y compris les avant et arrière-becs. Les parements sont verticaux. Les avant-becs sont de forme ogivale pour briser et diriger le courant à l'entrée des chambres. Ils se terminent à la partie supérieure par un plan incliné, destiné éventuellement à recevoir des grilles. Les arrière-becs sont rectangulaires.

Les piles proprement dites, reposent sur le garde-radier amont et sur le radier intérieur aux caissons. Les avant-becs s'appuient sur le radier de l'ancien ouvrage et les arrière-becs sur le caisson d'aval. A l'emplacement des caissons d'amont, les piles présentent deux rainures : l'une, de 0<sup>m</sup>,92 de largeur et 0<sup>m</sup>,45 de profondeur, est destinée au logement des vannes ; l'autre, de 0<sup>m</sup>,40 de largeur et de 0<sup>m</sup>,36 de profondeur, est destinée au logement de poutrelles provisoires ou de caissons batardeaux. L'espace libre ménage une chambre de visite. A l'emplacement des caissons d'aval, les piles présentent une troisième rainure qui permet d'isoler les chambres entières, en cas de réparation.

Les piles proprement dites, sans tenir compte des arrière-becs, sont suffisantes pour résister aux plus fortes charges ; les épures de stabilité montrent que, dans cette hypothèse, l'effort maximum à la base sera de 3<sup>kg</sup>,760 par centimètre carré. Transversalement, les piles peuvent résister à une hauteur de 6 mètres d'eau. Lors donc que l'on épuîsera une chambre de vanne, on devra faire en sorte de ne pas dépasser cette poussée sans renforcer la pile par des étais provisoires.

*Doubles poutres en ciment armé réunissant les piles* (pl. XV, fig. 1, 2, 3, 4 et 5). — Des poutres fixes en ciment armé réunissent les piles au droit des rainures d'amont. Ces poutres, dont le dessous est établi au niveau des basses eaux ordinaires, ont pour but de réduire, l'une, la hauteur des vannes, l'autre, la hauteur des batardeaux. On a préféré les poutres en ciment armé aux poutres métalliques, pour éviter l'effet destructeur de la rouille sur des

métaux exposés à des alternatives de sécheresse et d'humidité. Toutefois, la partie métallique est calculée de façon à pouvoir résister par elle-même aux plus grands efforts de flexion.

Le béton de ciment ne sert que d'enveloppe protectrice et remplace un bordage métallique. L'ossature métallique se compose de quinze armatures horizontales à treillis, réunies verticalement par cinq entretoises à treillis.

A la température de 40°, la dilatation ne détermine sur le métal que des efforts de 9<sup>ks</sup>,50 par millimètre carré.

*Voûtes, pont et passerelles de service* (pl. XIII, pl. XIV et pl. XV, fig. 1). — Les voûtes entre piles, légèrement surbaissées, prennent naissance au niveau des basses eaux ordinaires et sont surmontées de tympans à l'amont et à l'aval.

Les voûtes et les tympans sont construits en béton de ciment, l'intervalle entre tympans est rempli de béton maigre de chaux hydraulique.

Tout le poids de la construction est reporté sur les piles dont la résistance au renversement se trouve, de ce fait, notablement augmentée.

L'ensemble constitue un pont de service de 6 mètres de largeur sur lequel sont installés les appareils de manœuvre des vannes et des batardeaux, un caniveau pour conduite d'eau sous pression, une voie de service pour la circulation d'une grue à vapeur et, éventuellement, de chariots porteurs de lourdes charges.

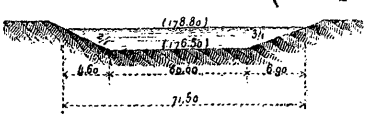
Le pont de service est complété, à l'aval, par une passerelle en béton de ciment et, à l'amont, par une passerelle métallique démontable pour faciliter l'approche et la pose des batardeaux.

**Débouché de l'ouvrage.** — D'après les dernières observations des hauteurs du Rhône, les basses eaux à l'origine du canal peuvent exceptionnellement descendre à la cote (178,80).

La section d'écoulement est alors de 151<sup>m²</sup>,22.

En admettant une pente superficielle de 0<sup>m</sup>,10 par kilomètre, qui correspond au mouvement uniforme, on trouve d'après les formules de Bazin que le canal débite 103 mètres cubes\*.

Section d'écoulement  $\Omega = \left( \frac{71,50 + 60,00}{2} \right) 2,30 = 151,22 \text{ m}^2.$



Périmètre mouillé  $\chi = 60,00 + 5,14 + 7,27 = 72,41.$

Rayon moyen  $R = \frac{\Omega}{\chi} = \frac{151,22}{72,41} = 2,09.$

Coefficient donné par les tables de Bazin  $A = 0,000447.$

Vitesse d'écoulement  $u = \sqrt{\frac{RI}{A}} = \sqrt{\frac{2,09 \times 0,0001}{0,000447}} = 0,68.$

$Q = 151,22 \times 0,68 = 102,83 \text{ m}^3.$

Le radier étant arasé à la cote (176,00), l'ouvrage présente à l'étiage une section d'écoulement de  $10 \times 4,95$  (178,20 — 176,00) = 108<sup>m</sup>,90, à laquelle il faut ajouter l'appoint des six conduites (24<sup>m</sup>,30), soit une section libre totale de 133<sup>m</sup>,20; mais, il est prudent de réduire de 10 p. 100 le résultat, pour tenir compte de la contraction de la veine liquide à l'entrée dans les chambres et les conduites, soit finalement une section de 120 mètres carrés, inférieure de 31 mètres carrés à la section courante du canal.

Il y aura donc une perte de charge, mais cette perte de charge sera très faible. Calculée par les formules ordinaires elle ne dépasse pas 0,043\*.

**Choix de l'ouverture des travées.** — La largeur de 5 mètres est une dimension moyenne qu'il a paru convenable d'adopter.

Trop grandes, les ouvertures, en cas d'accident, sont longues et difficiles à fermer avec des poutrelles ou des batardeaux provisoires. Le débit des grandes ouvertures peut être aussi une cause de danger. Ainsi, le débit d'une seule vanne de 5 mètres, qu'on serait dans l'impossibilité de manœuvrer, atteint déjà 120 mètres cubes sous une charge de 6 mètres.

Trop faibles, les ouvertures ont l'inconvénient d'augmenter la contraction de la veine liquide, d'allonger l'ouvrage et de multiplier les appareils de manœuvre.

En réalité, les travées n'ont que 4<sup>m</sup>,95 d'ouverture. Cette réduction de 0<sup>m</sup>,05 a permis d'utiliser des caissons approvisionnés dont la longueur totale s'accordait avec l'ouverture de 4<sup>m</sup>,95.

**Vannes** (pl. XVII, fig. 1, 3 et 4). — Les vannes du nouveau barrage, étudiées et construites par MM. Bony et Place, ingénieurs de la maison Pinguely à Lyon, sont du même type que les vannes du mur de retenue. La largeur est de 5<sup>m</sup>,44 au lieu de 4 mètres. Elles affectent sensiblement la forme du solide d'égale résistance. L'arbre du treuil porte trois systèmes d'engrenages répondant à trois vitesses différentes d'élévation ou de descente.

\* La perte de charge  $y$  est donnée par la formule :

$$y = \frac{Q^2}{2g} \left[ \frac{1}{m^2 l^2 h^2} - \frac{1}{L^2 (h + y)^2} \right]$$

dans laquelle :

$Q$  représente le débit égal à 100 mètres cubes par seconde.

$m$ , le coefficient de contraction de l'eau dans les chambres et les conduites égal à 0,85.

$l$ , la largeur de l'ouvrage  $10 \times 4,95 = 49,50$  m.

$h$ , la hauteur de l'eau = 2,20 m.

$L$ , la largeur du canal en amont de l'ouvrage = 80 mètres.

$y$ , la hauteur du remous. En procédant par approximations successives, on trouve que cette équation est vérifiée par  $y = 0,043$ .

*Manœuvre à bras.* — La manœuvre de ces vannes peut se faire à bras, sous toutes les charges, par deux ou par quatre hommes.

Les calculs justificatifs que nous donnons à la fin de ce paragraphe font ressortir les durées de manœuvre insérées au tableau suivant :

DIFFÉRENCE de niveau entre l'amont et l'aval.	EMPLOI des engrenages.			NOMBRE d'hommes employés aux manœuvres.	CHEMIN PARCOURU en une heure par la vanne.		HAUTEUR totale de déplacement.	DURÉE TOTALE du déplacement.	
	à petite vitesse.	à moyenne vitesse.	à grande vitesse.		à la montée.	à la descente.		à la montée.	à la descente.
m.					m.	m.	m.		
9,50	P.V.	.....	.....	4	0,617	.....	3,00	4 h. 52 m.	.....
5,50	P.V.	.....	.....	4	0,765	1,75	3,00	3 h. 55 m.	1 h. 43 m.
3,50	P.V.	.....	.....	2	0,481	3,03	3,00	6 h. 13 m.	1 h.
3,50		M.V.	.....	4	0,971	2,40	3,00	3 h. 6 m.	1 h. 45 m.
1,50	P.V.	.....	.....	2	0,660	4,85	3,00	4 h. 33 m.	0 h. 37 m.
1,50		M.V.	.....	4	1,327	1,48	3,00	2 h. 16 m.	2 h.
						2,986	3,00	.....	1 h. *

\* On remarquera que la descente de la vanne s'opère plus rapidement sous une charge de 3<sup>m</sup>,50 d'eau que sous une charge de 1<sup>m</sup>,50.

Ce résultat paradoxal s'explique de la façon suivante :

Les calculs montrent que le travail à développer dans les manœuvres est dû en très grande partie aux efforts de frottement des vis sur leurs écrous et des écrous sur leurs supports. Or, ces efforts de frottement sont toujours dirigés en sens inverse du mouvement, alors que, à la descente, la résultante du poids de la vanne et de l'effort déterminé par le frottement de la vanne sur ses glissières peut être dirigée en sens contraire du mouvement ou dans le même sens que lui. Comme les efforts de frottement des vis et de leurs écrous sont proportionnels à cette résultante, on conçoit qu'au voisinage du point où elle passe par 0, le travail peut passer par son minimum.

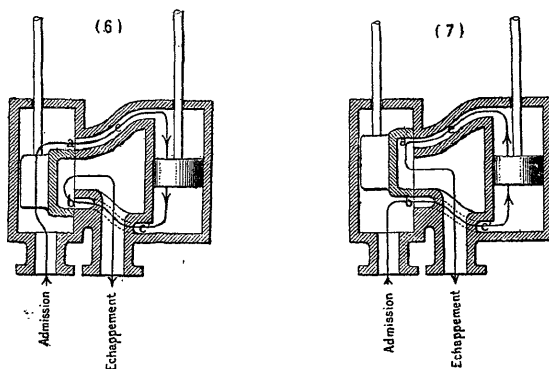
Afin d'abréger ces durées et de diminuer le personnel nécessaire aux manœuvres, surtout en temps de crue, chacune des vannes est pourvue d'un dispositif de manœuvre à vapeur et de manœuvre hydraulique.

*Manœuvre à vapeur.* — La manœuvre à vapeur se fait, comme aux vannes du mur de retenue, à l'aide de la grue destinée au service général du barrage : cette grue, pourvue d'une roue dentée, peut actionner, par l'intermédiaire d'une chaîne Galle, un pignon denté monté sur l'arbre de commande du treuil de manœuvre.

*Manœuvre hydraulique* (pl. XVIII). — Des moteurs hydrauliques reçoivent l'eau comprimée à 15 kilogrammes par la petite turbine et la pompe

de l'ancien ouvrage de garde; ils actionnent un arbre parallèle à l'arbre du treuil susceptible d'embrayer avec ce dernier par un pignon denté.

Les moteurs, fixés aux bâtis des treuils, sont du type à tiroir. Le mouvement du piston est transmis à l'arbre parallèle par une bielle et une manivelle calée sur l'arbre moteur. Le tiroir de distribution, muni d'un changement de marche, est commandé par un excentrique calé aussi sur l'arbre moteur. Le fonctionnement du tiroir et du piston est, en principe, le même



que dans une machine à vapeur. Lorsque le tiroir est dans la position (6), les deux lumières *a* et *b* sont ouvertes, l'une *a* à l'admission, l'autre *b* à l'échappement. L'eau admise pénètre par le conduit *c* et agit sur la face supérieure du piston, tandis que l'autre face refoule l'eau au réservoir par le conduit *c'*. Lorsque le tiroir est dans la position (7), le mouvement inverse se produit.

Les cylindres, les tiroirs et les pistons sont en bronze. La tête du piston (pl. XVIII, fig. 8) est en deux parties : l'une fait corps avec la tige, et l'autre, formant écrou, se visse sur la première. Une garniture de cuir\* en trois parties, serrée entre ces deux disques, assure l'étanchéité.

L'eau puisée au réservoir est d'abord refoulée dans un cylindre de 1<sup>m</sup>,30 de capacité qui sert d'accumulateur ; de là, elle est distribuée aux moteurs et ramenée au réservoir par une conduite en tuyaux de fer de 0<sup>m</sup>,064 de diamètre, munis de branchements en face de chaque moteur\*\* (pl. XVII, fig. 1).

Les calculs justificatifs, annexés à ce paragraphe, font ressortir les

\* Cette garniture de cuir a été remplacée plus tard par un segment de bronze.

\*\* Pour éviter les coups de bélier, on a reconnu, aux essais, la nécessité de munir la conduite d'un petit réservoir d'air à l'entrée de chaque moteur.

chiffres suivants pour les durées de manœuvre, aux vitesses respectives de 60 et de 120 tours du moteur par minute.

DIFFÉRENCE de niveau entre l'amont et l'aval.	HAUTEUR totale de déplacement.	DURÉE DU DÉPLACEMENT total à la vitesse de 60 tours du moteur par minute.		DURÉE DU DÉPLACEMENT total à la vitesse de 120 tours du moteur par minute.	
		à la montée.	à la descente.	à la montée.	à la descente.
	m.				
9,50	3,00	1 h. 44 m. 40 s.	50 m. 3 s.	52 m. 20 s.	25 m. 1 s.
5,50	»	1 h. 11 m. 19 s.	45 m.	35 m. 34 s.	22 m. 30 s.
3,50	»	1 h. 1 m. 36 s.	45 m.	30 m. 48 s.	22 m. 30 s.
1,50	»	45 m.	45 m.	22 m. 30 s.	22 m. 30 s.

**Batardeaux** (pl. XVII, fig. 1, 2, 5 et 6). — Les batardeaux destinés à fermer les chambres, en cas d'accident aux vannes, ou à les isoler en cas d'épuisements et de réparations, sont des pièces métalliques de même forme que les vannes et de 1<sup>m</sup>,05 de hauteur chacune. Ces pièces s'appliquent l'une sur l'autre au contact de pièces de bois auxquelles sont fixés des torons de chanvre pour assurer l'étanchéité (fig. 6).

Les batardeaux sont levés et amenés dans les rainures d'amont ou d'aval, par une grue roulante qui les saisit à l'aide d'une chaîne et de crochets. L'eau pouvant à l'amont, en cas d'accident à la vanne, exercer une poussée susceptible d'empêcher la descente du batardeau sous l'effet de son seul poids, on a muni, chacun des batardeaux, de tenons filetés dans lesquels s'engage l'écrou de tiges à rallonge mises en mouvement, de la partie supérieure du barrage, par un cric de manœuvre (fig. 1 et 2).

**Raccordements de l'ouvrage avec ses abords.** — A l'amont du barrage, l'ouvrage se raccorde avec la balme par un terre-plein arasé au niveau supérieur du mur et du chemin de contre-halage (pl. XII).

A l'aval de l'ouvrage, une pente de 0<sup>m</sup>,03 sur 80 mètres, raccorde ce terre-plein au chemin de contre-halage.

La culée de rive gauche se prolonge, à l'amont, par un mur droit, jusqu'à l'ancien barrage dont le tenon dans la balme est conservé. A l'aval, elle se termine par un mur en retour et son arrière-bec se prolonge par un mur



de quai, qui soutient le pied de la rampe de raccordement du chemin de contre-halage.

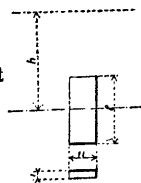
*La culée de rive droite se raccorde à angle droit avec le mur de retenue élevé sur les caissons et soutient latéralement le terre-plein adossé à ce mur ; en aval, elle se prolonge par un mur de quai au niveau de ses arrière-becs. Ce quai se raccorde avec la passerelle aval de l'ouvrage et le mur de tête aval des conduites. Il en résulte, depuis la balme jusqu'à l'écluse, une voie de circulation de 2 mètres de largeur.*

**Démolition de l'ancien ouvrage.** — La démolition de l'ancien ouvrage s'est faite par épuisements, à l'abri du remblai provisoire, renforcé ou non par des batardeaux.

La partie correspondant aux vannes hydrauliques étant conservée, cette démolition n'a eu lieu que dans la partie atteinte par l'accident du 28 avril 1899.

**Conservation du bâtiment et de la turbine de l'ancien ouvrage.** — Ainsi que nous l'avons dit, on a conservé aussi le bâtiment, la petite turbine et la pompe de l'ancien ouvrage, pour s'en servir à la manœuvre hydraulique des anciennes et des nouvelles vannes et, éventuellement, à la mise en marche d'une dynamo, au chargement d'accumulateurs, à la production de la force motrice d'un petit atelier, etc. On a isolé complètement ce bâtiment, en remplissant de béton la première chambre de sortie d'eau de l'ancien barrage et en élevant le premier arrière-bec au niveau de la retenue.

---



Pour la portée maxima :

$$\begin{aligned} h &= 9,50 - 2,955 = 6^m,545 \\ l &= 0,450 - 0,170 = 0^m,280 \\ R &= \frac{6,545 \times \overline{280^3}}{161 \times 1.000.000} = 3^{kg},20 \end{aligned}$$

Pour la portée minima :

$$\begin{aligned} h &= 9,50 - 0,3125 = 9^m,1875 \\ l &= 0,325 - 0,170 = 0^m,155 \\ R &= \frac{9,187,5 \times \overline{155^3}}{161 \times 1.000.000} = 1^{kg},37 \end{aligned}$$

L'épaisseur de 11 millimètres tient compte de l'affaiblissement de la tôle par l'oxydation.

Efforts de levée des vannes. — Nous adopterons pour coefficient de frottement de bronze sur bronze mouillé d'eau :

Au démarrage . . . . .	0,50
Après démarrage. . . . .	0,20

et nous distinguerons 4 cas :

I. — Cote des eaux d'amont . . . . .	185 <sup>m</sup> ,50
Cote des eaux d'aval . . . . .	176 <sup>m</sup> ,00 (canal à sec).
Différence de niveau . . . . .	9 <sup>m</sup> ,50
Poussée sur la vanne $Q = (9,500 - 1,625) 1.000 \times 17,51$	$\approx 137.890$ kilogr.
Effort de levée au démarrage . . . . .	$137.890 \times 0,50 \approx 68.945$ —
Effort de levée après démarrage . . . . .	$137.890 \times 0,20 \approx 27.578$ —
II. — Cote des eaux d'amont . . . . .	183 <sup>m</sup> ,50
Cote des eaux d'aval . . . . .	178 <sup>m</sup> ,00
Différence de niveau . . . . .	5 <sup>m</sup> ,50
Poussée sur la vanne $Q = (7,500 - 1,625) 1.000 \times 17,51 - 2,00 \times 5,39 \times 1.000$	$= 92.091$ kilogr.
Effort de levée au démarrage . . . . .	$92.091 \times 0,50 \approx 46.045$ —
Effort de levée après démarrage . . . . .	$92.091 \times 0,20 \approx 18.418$ —
III. — Cote des eaux d'amont . . . . .	181 <sup>m</sup> ,50
Cote des eaux d'aval . . . . .	178 <sup>m</sup> ,00
Différence de niveau . . . . .	3 <sup>m</sup> ,50
Poussée sur la vanne $Q = (5,500 - 1,625) 1.000 \times 17,51 - 2,00 \times 5,39 \times 1.000$	$= 57.071$ kilogr.
Effort de levée au démarrage . . . . .	$57.071 \times 0,50 \approx 28.535$ —
Effort de levée après démarrage . . . . .	$57.071 \times 0,20 \approx 11.414$ —
IV. — Cote des eaux d'amont . . . . .	179 <sup>m</sup> ,50
Cote des eaux d'aval . . . . .	178 <sup>m</sup> ,00
Différence de niveau . . . . .	1 <sup>m</sup> ,50
Poussée sur la vanne $Q = (3,500 - 1,625) 1.000 \times 17,51 - 2,00 \times 5,39 \times 1.000$	$= 22.051$ kilogr.
Effort de levée au démarrage . . . . .	$22.051 \times 0,50 \approx 11.025$ —
Effort de levée après démarrage . . . . .	$22.051 \times 0,20 \approx 4.410$ —

Efforts de traction sur les vis de vérins. — Ces efforts se composent :

1° Des efforts de levée ci-dessus.

2° Du poids de la vanne et des pièces en mouvement, soit 8.500 kilogrammes pour la vanne et les vérins.

	AU DÉMARRAGE	APÈS DÉMARRAGE
Cas I	77.445 kg.	36.078 kg.
— II	54.545 kg.	26.948 kg.
— III	37.033 kg.	19.914 kg.
— IV	19.523 kg.	12.910 kg.

**Garnitures de bronze des vannes et de leurs guidages.** — En supposant que la poussée ne s'exerce que sur les deux bandes de bronze verticales, nous avons :

$$\begin{array}{r} \text{Surface de contact } 2 \times 3,475 \times 0,145 \dots\dots\dots 1,0077 \\ \text{A déduire : 138 surfaces de tête de vis de } 26 \text{ m/m de diamètre } \dots\dots\dots 0,0732 \\ \hline \dots\dots\dots 0,9345 \end{array}$$

$$\text{Pression maxima par m/m}^2 \text{ de surface } \frac{137.890}{934.500} = 0^{\text{kg}},15$$

Diamètre des vis au fond du filet, 13 millimètres ; section, 132 millimètres carrés. Sous l'effort maximum de levée les vis travaillent à :

$$\frac{68.945}{138 \times 132} = 3^{\text{kg}},7$$

**Vis de vérins.** — Diamètre des vis au noyau, 90 millimètres ;

Écartement maximum de l'écrou au guide, 2<sup>m</sup>,63.

Au moment de l'ouverture de la vanne, la vis travaille comme une pièce chargée debout sous un effort maximum de :

$$\frac{68.945 - 8.500}{2} = 30.222^{\text{kg}}.$$

La charge de rupture est donnée par la formule  $P = \frac{12EI}{l^3}$ .

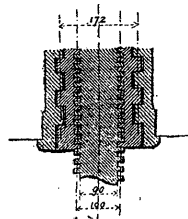
$$E = 17.000 \quad I = 0,0491 d^4 \quad l = 2,63$$

$$P = \frac{12 \times 17.000 \times 0,0491 \times 90^4}{2,630^3} = 93.581^{\text{kg}}.$$

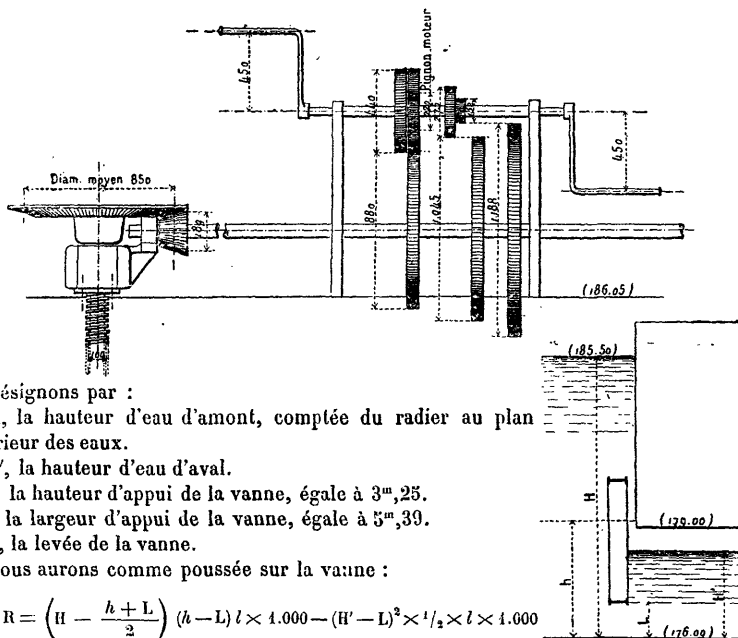
L'effort maximum est donc inférieur au tiers de la charge de rupture, dans le cas exceptionnel des plus hautes eaux à l'amont de l'ouvrage de garde et du canal à sec à l'aval.

#### Treuil de manœuvre.

Diamètre moyen de la vis. . . . .	100 m/m
Pas de la vis. . . . .	20 —
Diamètre moyen de la surface d'appui de l'écrou . . . .	172 —
— de la roue conique . . . . .	850 —
Nombre de dents de la roue conique, 54. Diamètre primitif moyen. . . . .	850 —
Nombre de dents du pignon conique, 12. Diamètre primitif moyen. . . . .	189 —
Roue petite vitesse, P.V. Dents. 108. Diamètre primitif . . . . .	1.188 m/m
Pignon — — — — — 12. — — — — —	132 —



Roue moyenne vitesse, M.V. Dents. 95.	Diamètre primitif . . . . .	1.045 m/m
Pignon — — — — — 23.	— . . . . .	275 —
Roue grande vitesse, G.V. — 60.	— . . . . .	880 —
Pignon — — — — — 40.	— . . . . .	440 —
Rayon des manivelles, R . . . . .	— . . . . .	450 —



Désignons par :

H, la hauteur d'eau d'amont, comptée du radier au plan supérieur des eaux.

H', la hauteur d'eau d'aval.

h, la hauteur d'appui de la vanne, égale à 3<sup>m</sup>,25.

l, la largeur d'appui de la vanne, égale à 5<sup>m</sup>,39.

L, la levée de la vanne.

Nous aurons comme poussée sur la vanne :

$$R = \left( H - \frac{h+L}{2} \right) (h-L) l \times 1.000 - (H'-L)^2 \times \frac{1}{2} \times l \times 1.000$$

$$R = \left( H - \frac{3,25 + L}{2} \right) (3,25 - L) 5,390 \times 1.000 - (H' - L)^2 \times \frac{1}{2} \times 5,390 \times 1.000$$

dans le cas où il existe une contre-pression, et :

$$R = \left( H - \frac{h+L}{2} \right) (h-L) l \times 1.000$$

$$R = \left( H - \frac{3,25 + L}{2} \right) (3,25 - L) 5,390 \times 1.000$$

dans le cas où il n'existe pas de contre-pression.

Les efforts de manœuvre, montée ou descente de la vanne, sont :

$$Q = fR \pm 8.500^{kg},$$

f étant le coefficient de frottement, bronze sur bronze mouillé d'eau, que nous supposons égal à :

0,50 au démarrage ;

0,20 après démarrage ;

Soient :

P, l'effort à appliquer au diamètre moyen de la roue conique ;



HAUTEUR de levée de la vanne au-dessus du radier  L	POUSSÉE  sur la vanne  R	EFFORT de traction après démarrage  fR	EFFORT de montée  fR + 8.500	EFFORT de descente  fR — 8.500	EFFORT à appliquer au diamètre moyen de la roue	
					P à la montée.	P à la descente.
CAS III						
0 <sup>m</sup> .00	57.404 kg.	41.420 kg.	49.920 kg.	2.920 kg.	553 kg.	81 kg.
0 <sup>m</sup> .50	47.668	9.534	18.034	1.034	500	29
1 <sup>m</sup> .00	38.235	7.647	16.147	— 853	448	17
1 <sup>m</sup> .50	28.803	5.761	14.261	— 2.739	396	55
2 <sup>m</sup> .00	19.371	3.874	12.374	— 4.626	343	94
2 <sup>m</sup> .50	10.642	2.422	10.622	— 6.378	295	129
3 <sup>m</sup> .00	3.200	640	9.140	— 7.860	254	159
Effort moyen à la montée. . . . . 398 kg.						
Effort moyen à la descente . . . . . 81 kg.						
CAS IV						
0 <sup>m</sup> .00	22.066 kg.	4.413 kg.	12.913 kg.	— 4.087 kg.	358 kg.	83 kg.
0 <sup>m</sup> .50	18.023	3.605	12.105	— 4.895	336	99
1 <sup>m</sup> .00	13.980	2.796	11.296	— 5.704	313	116
1 <sup>m</sup> .50	9.938	1.988	10.488	— 6.512	291	132
2 <sup>m</sup> .00	5.896	1.179	9.679	— 7.321	269	148
2 <sup>m</sup> .50	2.527	505	9.005	— 7.995	250	162
3 <sup>m</sup> .00	505	401	8.601	— 8.399	239	170
Effort moyen à la montée. . . . . 294 kg.						
Effort moyen à la descente . . . . . 130 kg.						

**Efforts à exercer sur les manivelles du treuil.** — Nombre de manivelles . . . 2  
 En admettant 10 p. 100 de pertes pour le frottement des engrenages, l'effort à exercer sur les manivelles est :

$$(P.V.) \quad E = \frac{2P \times 189 \times 132}{1.188 \times 900 \times 0,90} = 0,0518 P.$$

$$(M.V.) \quad E = \frac{2P \times 189 \times 275}{1.045 \times 900 \times 0,90} = 0,1228 P.$$

$$(G.V.) \quad E = \frac{2P \times 189 \times 440}{880 \times 900 \times 0,90} = 0,2330 P.$$

**Manceuvre à main.** — Un homme peut développer par seconde un travail de 8 kilogrammètres.

L'effort étant E sur les manivelles et le travail par seconde étant  $t$ , on a pour la vitesse à la circonférence de la manivelle :

$$v = \frac{t}{E}$$

$r$  étant le rayon de la manivelle, le nombre de tours par minute sera :

$$\frac{60v}{2\pi r} = \frac{60t}{2\pi r \times E}$$

et par heure :

$$\frac{3.600 t}{2\pi r \times E} = 1.273 \frac{t}{E}$$

Pour un tour aux manivelles, la montée de la vanne sera de :

$$\text{Engrenages (P.V.)} \quad 20^{\text{mm}} \times \frac{12}{54} \times \frac{12}{108} = 0^{\text{mm}},49$$

$$\text{Engrenages (M.V.)} \quad 20^{\text{mm}} \times \frac{12}{54} \times \frac{25}{95} = 1^{\text{mm}},17$$

$$\text{Engrenages (G.V.)} \quad 20^{\text{mm}} \times \frac{12}{54} \times \frac{40}{80} = 2^{\text{mm}},22$$

En une heure la vanne montera de :

$$\text{Engrenages (P.V.)} \quad 0,49 \times 1.273 \times \frac{t}{E} = \frac{623 \times t}{E} = \frac{623 \times t}{0,0518 P} = 12.027 \frac{t}{P}^{\text{mm}}.$$

$$\text{Engrenages (M.V.)} \quad 1,17 \times 1.273 \times \frac{t}{E} = \frac{1.490 \times t}{E} = \frac{1.490 \times t}{0,1228 P} = 12.133 \frac{t}{P}^{\text{mm}}.$$

$$\text{Engrenages (G.V.)} \quad 2,22 \times 1.273 \times \frac{t}{E} = \frac{2.827 \times t}{E} = \frac{2.827 \times t}{0,233 P} = 12.133 \frac{t}{P}^{\text{mm}}.$$

En appliquant ces formules dans les quatre cas considérés, on trouve :

DÉSIGNATION des cas.	EFFORT MOYEN P à appliquer au diamètre moyen de la roue conique.		EFFORT MOYEN E à appliquer aux manivelles.		HAUTEUR de déplacement en une heure.		DURÉE TOTALE d'un déplacement de 3 m. de hauteur au-dessus du radier.	
	à la montée	à la descente	à la montée	à la descente	à la montée	à la descente	à la montée	à la descente
I (P. V.) 4 hommes	kg. 624	kg. 220	kg. 32	kg. 11,40	m. 0,617	m. 1,75	4 h. 52 m.	1 h. 43 m.
II (P. V.) 4 hommes	503	127	26	6,60	0,765	3,03	3 h. 55 m.	1 h.
III (P. V.) 2 hommes	400	80	20,70	4,15	0,481	2,40	6 h. 13 m.	1 h. 15 m.
III (M. V.) 4 hommes	400	80	49,10	9,82	0,971	4,85	3 h. 6 m.	37 m.
IV (P. V.) 2 hommes	294	130	15,25	6,75	0,660	1,48	4 h. 33 m.	2 h.
IV (M. V.) 4 hommes	294	130	36,10	15,96	1,327	2,986	2 h. 16 m.	1 h.

**Manœuvre hydraulique.** — Les pompes de compression installées à l'ouvrage de garde sont établies sur les données suivantes :

Nombre de corps à simple effet . . . . .	2
Diamètre des pistons . . . . .	110 mm.
Course des pistons . . . . .	100 mm.
Nombre de tours par minute . . . . .	78

CHAUVIN. — Canal de Jonage.



Le débit par seconde dans ces conditions est de :

$$\frac{3,14 \times 0,110^2}{4} \times 0,100 \times 2 \times \frac{78}{60} = 0^m,00247, \text{ soit } 2^l,47$$

qui, à la pression de 15 atmosphères, représentent un travail de  $\frac{2,47 \times 150}{75} = 4,94$  chx. soit 5 chevaux, travail que peut développer la petite turbine de l'ouvrage de garde sous la chute de 1 mètre.

Le moteur hydraulique est établi sur les données suivantes :

Diamètre du piston . . . . .	80mm.
Section du piston . . . . .	50cm <sup>2</sup> .
Course du piston . . . . .	120mm.
Nombre de tours par minute . . . . .	60 à 120 tours.
Vitesse du piston par seconde : . . . . .	0 <sup>m</sup> ,240 à 0 <sup>m</sup> ,480.
Débit en eau du moteur par seconde . . . . .	1 <sup>l</sup> ,2 à 2 <sup>l</sup> ,4.
Pression maxima du timbre . . . . .	15 <sup>kg</sup> .
Roue motrice . . . . .	40 dents.
Pignon moteur . . . . .	20 —

Avec un rendement de 0,70 la puissance effective du moteur sera, par seconde :

$$T_m = 0,70 \times 50 \times 0,24 \times 15 = 126 \text{ kgm. à } 60 \text{ tours par minute.}$$

$$T_m = 0,70 \times 50 \times 0,48 \times 15 = 252 \text{ kgm. à } 120 \text{ tours par minute.}$$

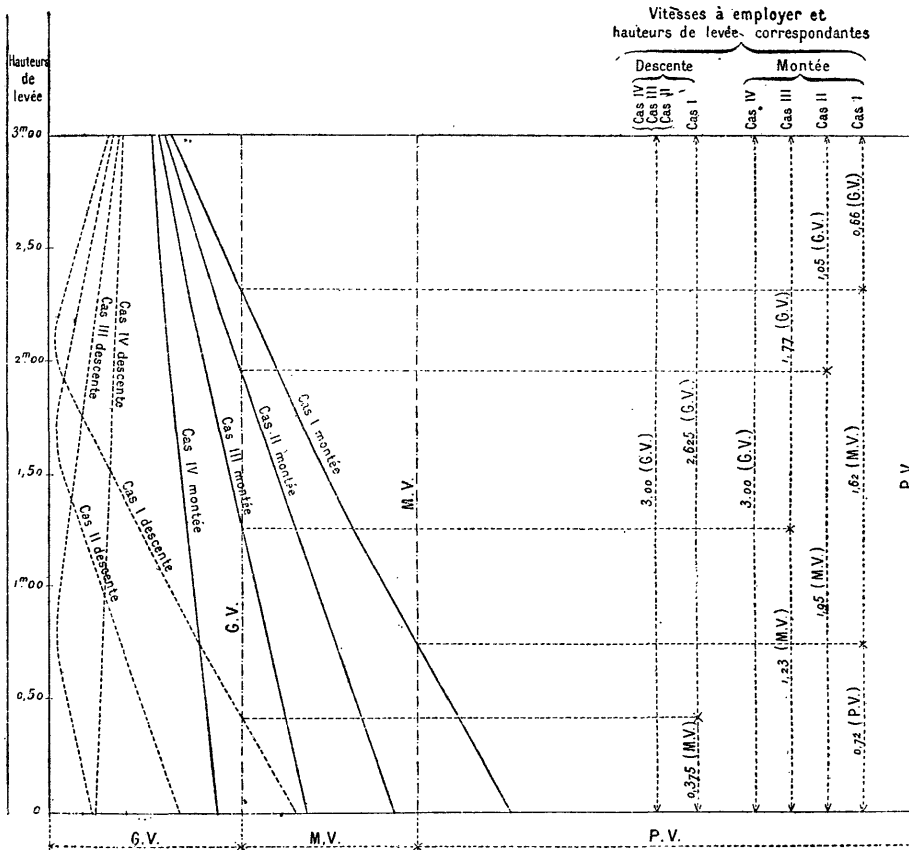
Pour un nombre fixe de tours du moteur à pression constante, le travail du moteur est constant. Comme, d'autre part, l'effort à développer au diamètre moyen de la roue conique est variable avec la poussée sur la vanne, il faudrait, pour que le travail restât constant, que le nombre de tours de la roue conique ou la hauteur de levée de la vis dans l'unité de temps, fût variable aussi; mais, pour un travail constant ou un nombre fixe de tours du moteur, le nombre de tours de la roue conique, pour un train déterminé d'engrenages, est aussi constant. Il faudrait donc que le rapport des diamètres primitifs des roues d'engrenages variât à chaque instant. En réalité, il ne peut en être ainsi parce qu'on ne peut installer une multitude de vitesses sur l'arbre du treuil; aussi devra-t-on faire varier le travail du moteur en réglant l'arrivée de l'eau; toutefois, on peut très utilement déduire de la variation de la résistance, la vitesse à employer, c'est-à-dire les engrenages à faire embrayer suivant la hauteur de levée de la vanne.

Calculons pour cela l'effort que développe chacune des vitesses P, M, G, pour le nombre normal de tours du moteur 60 ou 120.

$$\begin{aligned} \text{(P.V.)} \quad & \frac{126}{3,1416 \times 0,850 \times \frac{20}{40} \times \frac{12}{108} \times \frac{12}{54}} = 3.822^{\text{kg}}. \\ \text{(M.V.)} \quad & \frac{126}{3,1416 \times 0,850 \times \frac{20}{40} \times \frac{25}{95} \times \frac{12}{54}} = 1.615^{\text{kg}}. \\ \text{(G.V.)} \quad & \frac{126}{3,1416 \times 0,850 \times \frac{20}{40} \times \frac{40}{80} \times \frac{12}{54}} = 850^{\text{kg}}. \end{aligned}$$

Construisant, d'après le tableau de la page 47, la courbe des efforts 2P, en prenant pour abscisses les efforts 2P et pour ordonnées les hauteurs de levée, on en déduit les

hauteurs de levée de la vanne pour lesquelles il y a lieu d'employer la petite, la grande ou la moyenne vitesse.



D'autre part, pour 60 tours du moteur à la minute, la vanne s'élève de :

$$\left. \begin{aligned}
 0,02 \times \frac{20}{40} \times \frac{12}{108} \times \frac{12}{54} &= \frac{0,02}{81} \text{ en P.V.} \\
 0,02 \times \frac{20}{40} \times \frac{25}{95} \times \frac{12}{54} &= \frac{0,02}{34,2} \text{ en M.V.} \\
 0,02 \times \frac{20}{40} \times \frac{40}{80} \times \frac{12}{54} &= \frac{0,02}{18} \text{ en G.V.}
 \end{aligned} \right\} \text{ par seconde.}$$

On arrive ainsi, dans les quatre cas considérés, aux résultats consignés au tableau suivant :

DÉSIGNATION DES CAS	HAUTEUR DE LEVÉE OU DE DESCENTE			DURÉE DE LA MANŒUVRE			DURÉE TOTALE de la manœuvre pour 60 tours du moteur à la minute.	DURÉE TOTALE de la manœuvre pour 120 tours du moteur à la minute.
	En petite vitesse P. V.	En moyenne vitesse M. V.	En grande vitesse G. V.	En petite vitesse P. V.	En moyenne vitesse M. V.	En grande vitesse G. V.		
<i>Cas I</i>	m.	m.	m.					
Montée. . .	0,72	1,62	0,66	48 m. 36 s.	46 m. 10 s.	9 m. 54 s.	1 h. 44 m. 40 s.	52 m. 20 s.
Descente. .		0,375	2,625		10 m. 41 s.	39 m. 22 s.	50 m. 3 s.	25 m. 4 s.
<i>Cas II</i>								
Montée. . .		1,95	1,05		55 m. 34 s.	15 m. 45 s.	1 h. 11 m. 19 s.	35 m. 34 s.
Descente. .			3,00			45 m.	45 m.	22 m. 30 s.
<i>Cas III</i>								
Montée. . .		1,23	1,77		35 m. 3 s.	26 m. 33 s.	1 h. 4 m. 36 s.	30 m. 48 s.
Descente. .			3,00			45 m.	45 m.	22 m. 30 s.
<i>Cas IV</i>								
Montée. . .			3,00			45 m.	45 m.	22 m. 30 s.
Descente. .			3,00			45 m.	45 m.	22 m. 30 s.

### § 3. — ÉCLUSE DE GARDE

Les écluses du canal de Jonage sont du type de l'écluse du Sault construite sur le Haut-Rhône en 1888, à une époque où l'on prévoyait une transformation de la batellerie du Rhône.

D'après l'article 7 du cahier des charges, elles devaient avoir, comme l'écluse du Sault, une longueur de sas utile de 160 mètres et une largeur de 16 mètres.

Ces dimensions correspondaient à des convois formés d'une double file de trois bateaux de 40 mètres et d'un bateau d'une vingtaine de mètres.

La tendance aux longs bateaux paraissant abandonnée sur le Haut-Rhône, l'État a bien voulu laisser construire les écluses du canal de Jonage avec une longueur de sas utile de 105 mètres et une largeur de 16 mètres.

**Description (pl. XIX).** — L'écluse de garde, attenante au barrage de prise d'eau, rachète à l'époque des plus hautes eaux navigables une différence de niveau de 4 mètres au plus.

L'écluse de garde est établie presque entièrement à l'aval du barrage de prise d'eau, afin de réduire au minimum les sous-pressions qui pourront s'exercer à travers les sables et graviers du terrain de fondation.

L'ouvrage est construit sur un radier général de 3 mètres d'épaisseur normale. Aux deux têtes, le radier est descendu à 1 mètre plus bas, sur une vingtaine de mètres de longueur, pour former para fouille de protection contre les affouillements pouvant résulter des sous-pressions.

La longueur totale des bajoyers est de 136<sup>m</sup>,05 répartie de la façon suivante :

Mur de défense d'amont. . . . .	3 <sup>m</sup> ,70
Chambre des portes amont . . . . .	9 <sup>m</sup> ,40
Mur de fuite d'amont. . . . .	7 <sup>m</sup> ,40
Sas courant . . . . .	90 <sup>m</sup> ,40
Mur de défense d'aval. . . . .	7 <sup>m</sup> ,50
Chambre des portes aval . . . . .	9 <sup>m</sup> ,40
Mur de fuite d'aval. . . . .	8 <sup>m</sup> ,55
<b>Total . . . . .</b>	<b>136<sup>m</sup>,05</b>

L'écluse de garde ne présente pas de mur de chute. Le radier est arasé à la même cote sur toute la longueur, sauf dans les chambres des portes où il est en contre-bas de 30 centimètres, saillie du busc. Des garde-radiers de 0<sup>m</sup>,30 de hauteur, protègent les chambres des portes de l'entrée des sables, graviers et autres corps roulés par les eaux.

Les bajoyers ont 9<sup>m</sup>,55 de hauteur. Le couronnement du bajoyer de gauche offre une largeur de 3 mètres à la circulation des mariniers et aux manœuvres de batellerie. Le bajoyer de rive droite auquel est adossé le terre-plein, n'a que 2<sup>m</sup>,50. Les parements intérieurs des bajoyers sont à fruit de 0<sup>m</sup>,05, sauf dans les murs de défense, les murs de fuite et les chambres des portes, où ils sont verticaux. Le jeu longitudinal entre les portes et la chambre des portes, est de 0<sup>m</sup>,08; le jeu transversal, de 0<sup>m</sup>,10. Des rainures verticales de 0<sup>m</sup>,35 de largeur, distantes entre elles de 1 mètre, sont pratiquées dans les bajoyers à l'amont et à l'aval des portes et peuvent recevoir des poutrelles de batardeau pour l'épuisement des chambres, en cas de réparation ou d'avarie. Ces poutrelles horizontales, qui, en raison de la portée et de la pression, devraient être armées de fer, seraient d'une pose très longue et très difficile : aussi, bien que la disposition des rainures se soit conservée dans les écluses de grande largeur, les poutrelles horizontales ont cessé d'être mises en service comme coffrages de batardeau; cependant, les rainures peuvent servir à glisser quelques poutrelles seulement, que l'on contrebutera par des pièces de bois ou de fer encastrées, au besoin, dans le radier, et contre lesquelles on viendra fixer des aiguilles ou une charpente en bois assemblée sous l'eau ou descendue par panneaux. Contre cette charpente, on appliquera une toile et l'on interposera, s'il est nécessaire, du tan entre la charpente et la toile, ainsi qu'il a été fait dans les batardeaux que nous décrirons plus loin et qui ont servi à la construction du sas aval de l'écluse double. Cinq échelles par bajoyer, logées dans des cavités de 0<sup>m</sup>,50 de largeur sur 0<sup>m</sup>,25 de profondeur, permettent aux ouvriers ou aux mariniers, de descendre le long des bajoyers pour les manœuvres de batellerie ou les réparations.

**Vannes et aqueducs de vidange et de remplissage (pl. XX).** — Le remplissage et la vidange du sas se font par des vannes cylindriques basses, de 1<sup>m</sup>,60 de diamètre, du type Fontaine dont nous avons déjà parlé.

Sans revenir sur cette description, nous rappellerons que ces vannes de fonte se composent essentiellement de deux couronnes cylindriques et concentriques : l'une des couronnes est fixe, surmontée d'un couvercle et reliée par des montants à un siège scellé dans la maçonnerie; l'autre couronne est mobile à l'aide d'une tige manœuvrée par un eric.

Ces vannes présentent les deux grands avantages suivants : 1° il n'y a comme résistance au mouvement, que le poids propre de la vanne et les frottements du mécanisme, sans aucune pression d'eau ; 2° toute la section de l'orifice circulaire est utilisée en levant seulement la vanne d'une hauteur égale à la moitié de son rayon.

Les vannes cylindriques sont logées dans des chambres voûtées de 2<sup>m</sup>,30 de largeur, de 2<sup>m</sup>,65 de profondeur et de 3<sup>m</sup>,15 de hauteur sous clef, qu'on peut isoler du bief par des poutrelles glissées dans des rainures.

Dans chaque bajoyer (pl. XIX, fig. 1 et 2), deux vannes de remplissage, l'une placée à la tête amont et l'autre dans l'enclave de la chambre des portes amont, communiquent avec un aqueduc longitudinal, de 2<sup>m</sup>,20 de diamètre, qui court sur toute la longueur de l'écluse. Cet aqueduc débouche dans le sas de l'écluse par 5 pertuis de 1 mètre de largeur et de 1<sup>m</sup>,75 de pieds-droits : de la sorte, le remplissage s'effectue sur toute la longueur du sas à la fois et l'on évite les remous, les tourbillonnements dangereux, qui se produisent dans les aqueducs munis d'un seul orifice de sortie.

La vidange s'effectue par deux vannes cylindriques identiques, logées dans les bajoyers de la chambre des portes aval, et un aqueduc, de 2<sup>m</sup>,20 de diamètre, en communication avec le bief d'aval par une ouverture ménagée dans le mur de fuite.

**Nature des maçonneries.** — Le radier général est en béton de chaux hydraulique. Le dosage est de 150 kilogrammes de chaux du Teil par mètre cube de sable et gravier pour le béton coulé à sec et de 180 kilogrammes pour le béton coulé sous l'eau.

Les bajoyers sont construits en maçonnerie mixte (moellons ordinaires et béton) avec mortier de chaux hydraulique. Les parements vus sont en moellons têtus.

Les parements sont montés par hauteur d'environ 1<sup>m</sup>,15 en harpes à section trapézoïdale de 1 mètre à la base et 0<sup>m</sup>,50 au couronnement (pl. XIX, fig. 4). Tous les 5 mètres, ces harpes sont reliées transversalement par des murs de 1 mètre d'épaisseur. L'intérieur des chambres de 4 mètres de largeur ainsi formées, est rempli de béton. Une seconde assise de 1<sup>m</sup>,15 de hauteur, construite de la même façon, est surmontée d'une plate-bande de 0<sup>m</sup>,60 de hauteur, entièrement en maçonnerie, qui relie horizontalement les parements. On arrive ainsi à constituer, dans le corps de l'ouvrage, des massifs de béton de 2<sup>m</sup>,30 de hauteur et 4 mètres de longueur.

Ces maçonneries mixtes donnent une liaison satisfaisante, si l'on a soin de disposer des moellons en saillie de 5 à 6 centimètres, de répandre

du mortier frais sur les parements de moellons bruts avant le coulage du béton et de bien bourrer le béton à la dame : des saillies trop grandes, comme des saillies de 10 à 15 centimètres, empêcheraient le bourrage.

Ce genre mixte de maçonnerie a permis de réaliser une économie notable. Dans des ouvrages qui résistent à une charge d'eau, il a l'inconvénient d'être moins étanche qu'une maçonnerie homogène de moellons bruts ; mais dans des ouvrages ordinaires, où cette condition ne se rencontre pas, tels que des murs de soutènement, des piles et des culées de ponts et de viaducs, il peut être employé avantageusement.

Il n'existe de pierres de taille que dans les buscs, les bourdonnières et les chardonnets.

Les plinthes du couronnement des bajoyers sont en moellons piqués.

Les voûtes des aqueducs de remplissage et de vidange sont en moellons bruts : la clef est formée d'un voussoir en béton de ciment.

Le radier est recouvert d'un enduit au mortier de ciment de 0<sup>m</sup>,02 d'épaisseur.

**Conditions de résistance.** — Les bajoyers ont été calculés pour résister à la poussée des terres ou à la poussée des plus hautes eaux, le sas étant mis à sec. On a trouvé dans ces conditions que les maçonneries travaillent, à la base, au maximum de 5 kilogrammes par centimètre carré.

**Exécution des fondations.** — Les fouilles de l'écluse de garde, comme d'ailleurs celles de l'ancien ouvrage de garde, ont été faites à l'excavateur dans une profondeur d'eau de 3<sup>m</sup>,50 (pl. XXI).

Les talus ont pris une inclinaison naturelle de 2 de base pour 1 de hauteur.

En raison des difficultés qu'auraient rencontrées les épuisements, on a coulé le béton sous l'eau. Le coulage s'est fait de deux façons :

1° Tant que la hauteur d'eau a été supérieure à 1<sup>m</sup>,50, on a coulé à la trémie par couche de 0<sup>m</sup>,75.

2° Lorsque la hauteur d'eau est devenue inférieure à 1<sup>m</sup>,50, on a employé le procédé de coulage dit à talus coulant.

*Coulage du béton à la trémie* (pl. XXI, fig. 1, 2, 3, 4, 5). — Les trémies dont on faisait usage étaient formées de tuyaux cylindriques en tôle de 0<sup>m</sup>,004 d'épaisseur, 0<sup>m</sup>,40 de diamètre, 0<sup>m</sup>,75 de longueur, assemblés par des boulons, en sorte qu'elles pouvaient être allongées ou raccourcies à volonté (fig. 4) ; les tubes étaient évasés vers le bas pour faciliter le dégorgement. Un vaste entonnoir engouffrait le béton dans la trémie et contenait des réserves de matières.

Les trémies *c* étaient montées sur chariots mobiles et se déplaçaient le long d'une petite voie que soutenait le porte-à-faux de traverses installées sur un pont de bateaux *b*. Ces mêmes poutres portaient une passerelle de service *a* avec une voie de 0<sup>m</sup>,50 pour la circulation des wagonnets qui transportaient le béton, des bétonnières aux trémies. Des treuils *d* (fig. 3 et 4), installés sur les bateaux en dehors de la passerelle, enrroulaient ou déroulaient des chaînes d'amarrage qui, fixées à la rive, permettaient le déplacement du pont dans le sens de la longueur de la fouille (fig. 1). D'autres treuils *e* (fig. 3), installés aux extrémités de la voie des trémies enrroulaient ou déroulaient des chaînes fixées par des crochets aux trémies, produisant ainsi le déplacement de la trémie dans le sens transversal de la fouille.

La fouille étant préparée, on descendait la trémie jusqu'à 0<sup>m</sup>,75 au-dessus du fond et on la remplissait de béton (fig. 4 et 5). Pour que, dans ce premier remplissage, le béton ne se délave pas en tombant de toute la hauteur de la trémie, on doit introduire dans la trémie un obturateur en bois maintenu par des fils de fer. A mesure qu'on charge de béton, on laisse descendre lentement l'obturateur et, quand il est à fond, on l'abandonne avec ses fils dans la maçonnerie. A ce moment, le béton coulé au-dessous de la trémie a pris la forme d'un tronc de cône *abcd*. On imprime alors au chariot de légers déplacements à l'aide des treuils *e*, ou simplement à l'aide de pinces qu'on fait glisser sous les roues et qu'on soulève à la façon de leviers. La trémie s'avance et vient prendre une position *a'b'*. Sous le poids de la colonne de béton de la trémie, le talus *ac* s'est avancé en *a'c'* ou, s'il s'est recouvert d'une partie de nouveau béton, ce béton a coulé doucement d'une hauteur de 0<sup>m</sup>,75 seulement sur le talus naturel de béton frais, talus d'environ 2 pour 1. En évitant les déplacements trop rapides ou trop grands, en maintenant la trémie et son entonnoir toujours pleins de béton, on évite les désamorçages et l'on obtient des bétons de très bonne qualité dépourvus de laitance.

Le coulage exécuté sur la largeur de la fouille, on avançait la passerelle flottante à l'aide des treuils *d* et des chaînes d'amarrage puis on reprenait l'opération

Lorsque la première couche de 0<sup>m</sup>,75 était faite sur toute la surface de la fouille, on visitait au scaphandre et l'on nettoyait, au balai ou à la truelle du scaphandre, les dépôts et laitances qui étaient généralement de très peu d'importance. On enlevait un tube de 0<sup>m</sup>,75 aux trémies et l'on procédait au coulage de la seconde couche comme à celui de la première.

Lorsqu'on était arrivé dans les fouilles de l'ouvrage et de l'écluse de



garde, comme d'ailleurs dans celles des autres ouvrages, à n'avoir plus que 1<sup>m</sup>,50 de hauteur d'eau, on coulait le béton à talus coulant.

*Immersion du béton à talus coulant* (pl. XXI, fig. 6). — Ce procédé consiste à faire avancer toujours le même talus en faisant pénétrer, par pilonnage, le nouveau béton *b'b'* dans le béton déjà coulé *bb*. A cet effet, on tient le niveau du béton à quelques centimètres seulement au-dessus de l'eau, 5 centimètres au plus ; on répand le béton frais sur une largeur *b'b'* d'au plus 0<sup>m</sup>,50 et sur une hauteur d'au plus 0<sup>m</sup>,10. On pilonne, soit à la dame, en ayant soin d'agir verticalement et non obliquement comme il est plus facile de le faire et comme les manœuvres en ont la tendance naturelle, soit avec les pieds, quand les maçons sont chaussés de solides bottes et on produit de cette façon l'enfoncement de la masse *b'b'* dans la masse inférieure. En s'enfonçant, le béton *b'b'* détermine un mouvement d'avancement de la masse *bb* et, si la hauteur ne dépasse pas 1<sup>m</sup>,50 et qu'on ait soin d'employer du béton un peu humide, le talus s'avance sur toute sa hauteur, exposant au clapotis et au délavage toujours la même surface qui vient finalement s'appliquer contre les parois ou les talus de la fouille. Il importe dans ce coulage de ne pas interrompre le travail, sans quoi le béton frais ne pénétrerait pas à l'intérieur d'une masse qui aurait fait un commencement de prise et le nouveau béton coulerait sur le talus ancien.

**Exécution des bajoyers.** — Les bajoyers ont été exécutés entièrement à sec : deux ou trois pompes centrifuges fonctionnaient jour et nuit et maintenaient le plan d'eau du chantier du barrage et de l'écluse de garde, constamment au-dessous du niveau d'avancement des maçonneries.

**Portes d'écluse.** — Les portes d'écluse sont des portes busquées, à deux vantaux. L'angle formé par les vantaux fermés est de 143° 12' 58". Ces portes sont en acier.

*Vantaux* (pl. XXII, fig. 1, 2, 3, 4). — Chaque vantail a la forme d'un caisson rectangulaire de 8<sup>m</sup>,50 de longueur, 0<sup>m</sup>,65 de largeur et 9<sup>m</sup>,05 de hauteur. Il se divise en deux compartiments : à la partie inférieure, un compartiment étanche ou chambre à air de 5<sup>m</sup>,95 de hauteur destinée à alléger le poids de la porte dans l'eau ; à la partie supérieure, un compartiment ouvert sur les côtés de 3<sup>m</sup>,10 de hauteur.

Le cadre du caisson est constitué par 17 membrures horizontales, un poteau busqué et un poteau tourillon. Entre les deux poteaux, les membrures sont entretoisées verticalement. Les membrures sont formées d'une

tôle horizontale de 8 millimètres d'épaisseur, renforcée sur les bords par des cornières : elles sont toutes identiques, sauf la membrure inférieure et la membrure supérieure du compartiment étanche qui supportent des pressions verticales et sont consolidées par des cornières. L'écartement des membrures varie, avec la poussée qu'elles supportent, de 0<sup>m</sup>,50 pour la partie inférieure à 0<sup>m</sup>,64 pour la partie supérieure. Les entretoises sont également distantes de 2<sup>m</sup>,125. Elles sont constituées, dans l'intervalle de deux membrures, par un cadre rectangulaire de cornières munies de goussets qui laissent entre eux un vide en forme de losange.

Le cadre est recouvert à l'amont et à l'aval par un bordage en tôles plates rivées, d'une épaisseur variant de 8 à 11 millimètres. Ces tôles sont à placage et recouvrement. Les tôles de recouvrement embrassent les deux cornières des membrures, les tôles de placage, une cornière de chaque membrure.

Le poteau busqué et le poteau tourillon sont des poutres formées d'une âme de 9 millimètres d'épaisseur et de cornières rivées aux membrures. Cette âme est pleine sur toute la hauteur du poteau busqué ; elle est évidée sur le poteau tourillon au-dessus du compartiment étanche.

L'ensemble de la charpente est triangulé par deux écharpes en fer plat formant bracon.

De plus, à la base et au sommet du poteau tourillon, dans l'axe de symétrie du vantail, des renforts à âme pleine, avec cornières rivées sur les membrures horizontales et la poutre verticale, assurent la rigidité du poteau tourillon à ses points d'attache.

Pour amortir les chocs et assurer l'étanchéité, la porte s'appuie contre le chardonnet et le busc, par des pièces de bois boulonnées à la face aval du vantail. Le busc porte lui-même dans une rainure, une pièce de bois formant butée, encastrée et scellée dans la pierre. Enfin, les deux poteaux busqués s'appliquent, l'un contre l'autre, au contact de deux solides fourrures de bois, maintenues par des tirefonds entre une cornière et une âme qui est fixée à des équerres rivées au poteau busqué. Tous ces bois sont en chêne imprégné d'huile et de goudron.

La porte repose à la partie inférieure sur un pivot par une crapaudine. Le pivot et la crapaudine sont en acier coulé et font corps avec des plaques. La plaque pivot est scellée au ciment dans la bourdonnière, la plaque crapaudine est fixée par des boulons à la membrure inférieure : le pivot a 17 centimètres de diamètre et il existe entre le pivot et la crapaudine un jeu de 5 millimètres.

*Butoirs* (pl. XXII, fig. 4, 5 et 6). — La pression du vantail est répartie sur les chardonnets par 5 butoirs s'appuyant contre des coussinets de butée scellés dans la maçonnerie. Les butoirs sont profilés suivant une surface cylindrique convexe de 15 centimètres de hauteur; ils sont venus de fonte avec une plaque boulonnée au poteau tourillon; les coussinets de butée, profilés suivant une surface concave concentrique au butoir, sont aussi venus de fonte avec une plaque, munie de nervures, qu'on scelle au ciment dans les chardonnets.

*Appareils d'attache et de réglage* (pl. XXII, fig. 7 et 8). — A la partie supérieure du vantail, une plaque tourillon en acier coulé est boulonnée à la membrure. Le tourillon de 13 centimètres de diamètre s'engage dans un collier de bronze, relié par un appareil d'attache et de réglage, à des ancrages noyés dans la maçonnerie. Les ancrages ayant été posés et les maçonneries élevées avant que la porte fût en place, il importait, pour racheter les erreurs de pose, quelque faibles qu'elles fussent, de pouvoir faire jouer, en longueur et en direction, les attaches du tourillon aux barres d'ancrage. A cet effet, deux tiges à vis de réglage emboîtent, par des anneaux, le collier du poteau tourillon; les écrous de ces vis sont logés dans des boîtes articulées autour des barreaux d'ancrage.

L'articulation réalise le jeu en direction; le vissage des tiges, le jeu en longueur.

*Ancrages* (pl. XXII, fig. 9 et 10). Les ancrages qui reportent sur les maçonneries l'effort horizontal exercé par le tourillon, sont formés de barres plates triangulées et articulées. Leur contour affecte la forme d'un quadrilatère divisé en 5 triangles et couvrant une surface de 13<sup>m²</sup>,70. A leur point d'articulation, ces barres s'engagent par un œil dans une tige ronde, de 5 centimètres de diamètre et 5 mètres de longueur, noyée verticalement dans la maçonnerie et terminée à la partie inférieure par des S d'ancrage.

*Appareils de manœuvre des portes* (pl. XXII, fig. 11 et 12). — Les portes de l'écluse de garde se manœuvrent à la main.

La manœuvre à main se fait au moyen d'une manivelle qui agit, par l'intermédiaire d'engrenages, sur une crémaillère circulaire fixée à la porte. L'arbre horizontal de la manivelle commande un pignon d'angle qui engrène avec une roue conique dont l'arbre est vertical. Sur cet arbre, est fixé un pignon qui agit sur une seconde roue dont l'arbre, aussi vertical, porte à sa base, le pignon de commande de la crémaillère. La crémaillère est prise entre le pignon et un galet de butée, fou sur son arbre. Elle est guidée

par ce galet de butée et se déplace sur un chemin circulaire par des galets de roulement. Les roues et les pignons intermédiaires sont en fonte, les pignons extrêmes en acier moulé, la crémaillère en fer forgé. La partie inférieure de l'appareil est logée dans une chambre ménagée dans le bajoyer. La partie supérieure est protégée par une enveloppe de fonte, qui recouvre le logement de la partie inférieure.

*Passerelles de service.* — Une passerelle en bois de 0<sup>m</sup>,60, avec garde-corps en fer, est établie sur chaque vantail, pour la manœuvre des vannes et des portes de chaque côté de l'écluse.

De plus, l'écluse de garde devant rester ouverte une grande partie de l'année, il a été nécessaire, pour assurer la circulation en tout temps, de jeter une passerelle en fer d'un bajoyer à l'autre.

**Montage des portes** (pl. XXIII). — Les vantaux (fig. 1, 2, 3) ont été montés verticalement auprès de leur emplacement définitif. Des palées *a'a''* supportant des plates-formes mobiles *a*, servaient au montage et maintenaient l'équilibre. Le bardage s'est fait par glissement sur des poutres de bois (fig. 4). Le vantail terminé était soulevé par des crics puis installé sur un chantier formé de poutres longitudinales et de traverses savonnées dans les parties en contact. Il était maintenu à la partie supérieure par les crochets de palans *p/p''* (fig. 5 et 6) dont les cordages étaient amarrés aux bajoyers : vers le bas, il était saisi par les chaînes mouflées d'un treuil. En exerçant simultanément un effort de traction avec ce treuil et un effort de soulèvement avec des crics, on produisait l'avancement du vantail. La mise en place s'opéra en abaissant progressivement le chantier avec des crics.

---

#### § 4. — DÉVERSOIR

**Influence du déversoir.** — Rappelons que le déversoir, établi à l'aval de l'ouvrage de prise d'eau, a pour fonction de ramener au Rhône une partie des eaux en excès qui peuvent accidentellement traverser la prise d'eau.

Le déversoir a été placé au point 8<sup>km</sup>,600 parce que c'est en ce point que le canal se rapproche le plus du Rhône. La distance est d'environ 400 mètres.

Le déversoir présente un développement total très voisin de 160 mètres. Il est arasé à 1<sup>m</sup>,50 au-dessous de la digue.

Afin d'augmenter le débit du canal entre la prise d'eau et le déversoir, on a surélevé la digue de 0<sup>m</sup>,50 à l'ouvrage de garde et cette surélévation est rachetée par une pente uniforme de 0<sup>m</sup>,175 par kilomètre entre l'ouvrage de prise d'eau et le déversoir (pl. I, fig. 2).

En supposant que l'eau s'élève à la cote (181,50) à l'origine du déversoir et qu'elle s'écoule d'un mouvement uniforme avec la pente superficielle de 0<sup>m</sup>,175 par kilomètre entre l'ouvrage de garde et le déversoir, on trouve que le canal débite en cette partie 694 mètres cubes à la vitesse de 1<sup>m</sup>,53 à la seconde\*.

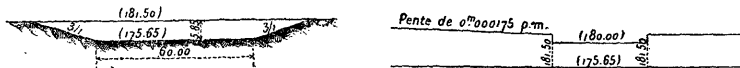
Calculons la variation de la lame déversante.

Soient (8) :

H, la hauteur de la lame déversante à l'origine du déversoir.

h, cette même hauteur en une section quelconque mn du déversoir.

H', la profondeur du canal au-dessous de l'arasement du déversoir.



$$\Omega = 5,85 (60 + 3 \times 5,85) = 453,66 \quad Z = 97.$$

$$R = \frac{453,66}{97} = 4,68 \quad \frac{H}{u^2} = 0,000355 \quad u = 1,53 \quad Q = 694 \text{ m}^3.$$

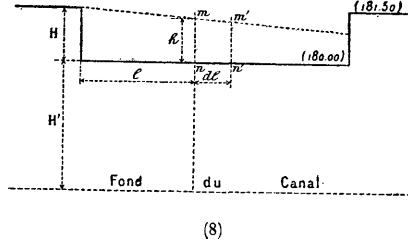
$v_0$ , la vitesse de l'eau dans le canal à l'origine du déversoir.

$v$ , cette même vitesse dans la section passant par  $mn$ .

$l$ , la distance de la section  $mn$  à l'origine du déversoir.

$Q$ , le débit du déversoir.

La quantité d'eau qui se déverse par seconde sur une longueur infiniment petite  $dl$ , est égale à :



(8)

$$dQ = 0,40 \, h \sqrt{2gh} \, dl = 1,77 \, h \sqrt{h} \, dl$$

La quantité  $dQ$  est égale à la variation du débit dans le canal, entre les deux sections infiniment voisines  $mn$  et  $m'n'$ .

Soit  $L$  la largeur du canal dans la section, passant par  $mn$ , que nous supposons rectangulaire. Le débit du canal est égal à :

$$L (H' + h) v$$

Négligeant, sur la longueur du déversoir, le travail de la pesanteur dû à la pente du fond du canal et le travail dû aux forces retardatrices de frottement, qui est de sens contraire au précédent, nous avons :

$$\frac{1}{2} (v^2 - v_0^2) = g \left( \frac{H-h}{2} \right)$$

$$v = \sqrt{2g \left( \frac{H-h}{2} \right) + v_0^2}$$

et, pour le débit du canal dans la section transversale passant par  $mn$  :

$$L (H' + h) \sqrt{g (H-h) + v_0^2}$$

d'où :

$$dQ = L \left[ \frac{-g (H' + h)}{2 \sqrt{g (H-h) + v_0^2}} + \sqrt{g (H-h) + v_0^2} \right] dh$$

$$1,77 \, h \sqrt{h} \, dl = L \left[ \frac{-g (H' + h)}{2 \sqrt{g (H-h) + v_0^2}} + \sqrt{g (H-h) + v_0^2} \right] dh$$

$$dl = \frac{L}{1,77 \, h \sqrt{h}} \left[ \frac{-g (H' + h)}{2 \sqrt{g (H-h) + v_0^2}} + \sqrt{g (H-h) + v_0^2} \right] dh$$

On tire de ces équations différentielles les deux relations :

$$l = \int \frac{L}{1,77 \, h \sqrt{h}} \left[ \frac{-g (H' + h)}{2 \sqrt{g (H-h) + v_0^2}} + \sqrt{g (H-h) + v_0^2} \right] dh.$$

$$Q = \int_0^l 1,77 \, h \sqrt{h} \, dl$$

Ces expressions donnant lieu à des difficultés d'intégration, nous les avons calculées par la méthode des quadratures.

La courbe

$$y = \frac{L}{1,77 \, h \sqrt{h}} \left[ \frac{-g(H' + h)}{2 \sqrt{g(H - h) + v_0^2}} + \sqrt{g(H - h) + v_0^2} \right] \quad (1)$$

dans laquelle  $L = 95$ ,  $v_0 = 1,53$ ,  $H = 1,50$ , nous a montré que la longueur  $l = 160$  correspond à  $h = 1^m,12$ .

La hauteur de la lame déversante variera donc de  $1^m,50$  à  $1^m,12$ .

La courbe (1) permet de calculer les différentes valeurs de  $l$  correspondant aux différentes valeurs de  $h$  et de construire la courbe

$$z = 1,77 \, h \sqrt{h} \quad (2)$$

en prenant  $l$  pour abscisse.

La surface représentative de

$$Q = \int_0^l 1,77 \, h \sqrt{h} \, dl$$

donne :

$$Q = 425^{\text{m}^3} \text{ pour } l = 160$$

Ainsi, au moment considéré, le déversoir débite  $425$  mètres cubes à la seconde; mais l'eau en excès produira une surélévation de la lame déversante qui tendra, à l'extrémité du déversoir, vers la limite de  $1^m,50$  qu'elle atteint à l'origine.

Pour une lame déversante uniforme de  $1^m,50$ , le déversoir débite :

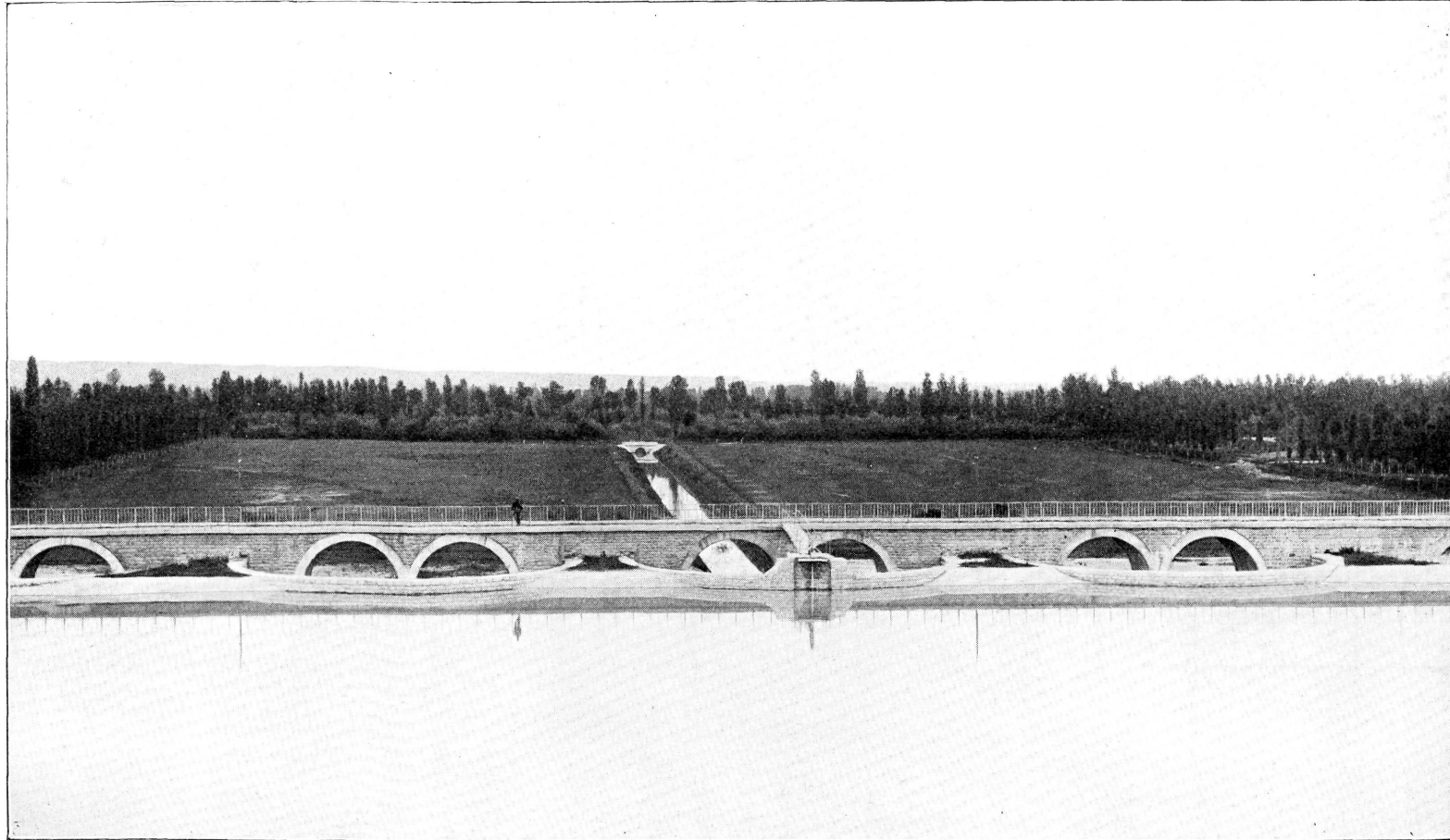
$$Q = 1,77 \times 1,50 \sqrt{1,50} \times 160 = 520^{\text{m}^3}$$

En prenant, pour le débit moyen la moyenne des débits extrêmes et en retranchant du débit de la prise le volume déversé on voit qu'il pénétrera dans le réservoir :

$$694 - 472 = 222^{\text{m}^3} \text{ par seconde,}$$

débit qui n'excède que de  $72^{\text{m}^3}$  le débit normal du canal en hautes eaux et qu'il serait toujours facile d'écouler par les conduites de l'usine et les vannes de l'écluse double.

Si l'on considère, d'autre part, que le débit de  $694^{\text{m}^3}$  correspond, en temps de plus hautes eaux, au cas tout à fait improbable de 5 grandes vannes entièrement ouvertes qu'on serait dans l'impossibilité de manœuvrer ou de remplacer par des batardeaux provisoires, on voit que le déversoir garantit la sécurité du canal en toute éventualité à prévoir.



VUE D'AMONT DU DÉVERSOIR



**Description** (pl. XXIV, fig. 1 à 7). — Le déversoir est en maçonnerie, du type appliqué au canal de l'Est. Il est arasé au niveau des plus hautes eaux dans le canal.

Il se compose de cinq bassins, formés chacun d'un mur à deux étages en forme de demi-cercle de 20 mètres de diamètre.

La forme circulaire a l'avantage, sur la forme rectiligne, d'augmenter pour une même longueur d'ouvrage, le périmètre de déversement. Elle permet, à égalité de débit, de réaliser un ouvrage plus solide et plus résistant.

La division en deux étages a pour but de réduire l'effet destructeur de la lame déversante.

Le mur est à parement intérieur vertical. Il est couronné par un seuil en pierre de taille arrondi. Le premier étage reçoit la lame dans une cuvette de 0<sup>m</sup>,30 de profondeur et de 3<sup>m</sup>,50 de largeur moyenne. Le fond demi-circulaire du bassin forme à l'étage inférieur, une cuvette de 0<sup>m</sup>,40 de profondeur, limitée par un garde-radier. Ces cuvettes retiendront un matelas d'eau qui amortira, à deux reprises, le choc de la lame déversante.

Le mur circulaire s'appuie contre un massif de maçonnerie évidé intérieurement et renforcé, à l'aval, par un contrefort en forme de demi-cône tronqué à base circulaire.

Sur ces massifs, prennent naissance des voûtes en plein cintre de 5<sup>m</sup>,60 de diamètre, qui s'appuient sur des piles intermédiaires au milieu de chaque bassin. Ces voûtes forment une suite de cinq ponceaux à deux ouvertures, qui, avec les massifs de maçonnerie, livrent passage au chemin de halage.

Le radier de ces ponceaux forme prolongement des cuvettes de déversement et les ponceaux forment chambre d'écoulement.

Aux extrémités, le dernier mur circulaire s'appuie contre un mur en retour droit qui pénètre dans la digue. L'ouvrage se raccorde avec les talus de la digue par des murs en aile courbes.

Il est protégé à l'aval contre les affouillements par un arrière-radier d'enrochements.

Contre le mur circulaire s'appuie, à l'intérieur du canal, un massif de corrois qui forme le prolongement de la digue et le raccordement de l'ouvrage.

Enfin, pour conduire au Rhône les eaux de déversement, deux digues, l'une de 5 mètres de largeur et l'autre de 3 mètres en couronne, se raccordent par des rampes de 0<sup>m</sup>,05 avec les digues du canal, laissant entre elles un chenal de fuite évasé vers le Rhône, d'une largeur moyenne de 180 mètres.

**Nature des maçonneries.** — Les fondations et le radier de l'ouvrage sont en béton. Les murs sont formés d'une maçonnerie mixte (béton et moellons bruts), comme les bajoyers d'écluse. Les parements sont en moellons têtus, les voûtes des ponceaux, en béton de ciment. La pierre de taille est artificielle et obtenue avec du béton de ciment coulé sur place entre des coffrages.

L'ouvrage a été fondé à sec sur le sable et le gravier. Toutefois, plusieurs bassins auraient donné lieu à des fondations profondes et à des difficultés d'épuisement pour atteindre le sable et le gravier : dans ces bassins, on s'est arrêté aux argiles compactes qu'on a fortement comprimées par un battage de pieux descendus jusqu'au terrain incompressible ; ces pieux, moisés et entretoisés, suffisent à supporter seuls le poids de la maçonnerie qui les surmonte.

---

## § 5. — USINE-BARRAGE

**Description** (pl. XXV, XXVI et XXVII). — L'usine-barrage est un mur de retenue à l'abri duquel est construit un bâtiment à deux étages qui constitue l'usine.

Le bâtiment repose par des voûtes sur des piles qui servent de contre-forts au barrage.

Des aqueducs, pratiqués dans le mur de retenue, amènent l'eau dans les huches des turbines établies à l'étage inférieur du bâtiment. L'étage supérieur est un vaste hall de 152<sup>m</sup>,40 de longueur et de 10 mètres de largeur, où sont installées les dynamos. Entre les deux étages, on a ménagé une plate-forme ou plancher, pour l'installation d'appareils accessoires et pour la visite des turbines.

Les piles divisent l'étage inférieur en autant de chambres de sortie d'eau qu'il y a de turbines, tandis qu'à l'amont, des avant-becs séparent les orifices d'entrée des aqueducs. De la sorte, chaque turbine a sa chambre d'entrée d'eau et sa chambre de sortie.

L'édifice se compose de deux parties symétriques séparées par un pavillon central qui correspond à un élargissement de la salle des machines.

Le nombre des turbines est de 19, dont 8 d'une force de 1.250 chevaux, 8 d'une force de 1.350 et 3 d'une force de 250. Les dynamos sont réparties de la même façon, les trois petites servant à l'excitation des 16 grandes. Elles sont placées sur le même axe vertical que les turbines et sont commandées par le même arbre (pl. XLIX).

Des bâtiments secondaires sont annexés à l'usine pour le logement du personnel et la réparation des machines et outils.

Nous allons examiner successivement les différentes parties de l'ouvrage.

**Radier.** — Pour reconnaître le sous-sol de fondation de l'usine-barrage, on descendit des sondages à 15 mètres de profondeur au-dessous du terrain naturel (de la cote 171,00 à la cote 156,00). Les couches superficielles de terre végétale, tourbe et marne, traversées, on ne rencontra plus que du sable et du gravier.

Ces résultats concordaient avec ceux que des industriels du voisinage affirmaient avoir obtenus à des profondeurs de 25 à 30 mètres. Ils s'accordaient aussi avec l'opinion, admise par les géologues et les ingénieurs, que les sables et graviers de la vallée du Rhône s'étendent à de grandes profondeurs (au delà de 50 mètres) et reposent sur le rocher.

Ils conduisirent à prévoir un radier général en béton de 20 mètres de largeur et 3 mètres d'épaisseur, capable de répartir le poids de la construction sur de larges surfaces et susceptible de résister, par une bonne liaison avec le sous-sol, aux sous-pressions qui pouvaient se produire sous la charge d'eau d'amont.

Des sondages postérieurs à la construction firent reconnaître, à l'emplacement de l'usine-barrage, l'existence d'un banc de marne de nature et de formation identiques à celui de l'ouvrage de garde. Ce banc se rencontre à 17 mètres environ au-dessous du sol, soit un peu plus bas que n'étaient descendus les premiers sondages.

Si cette constatation avait été faite avant la construction, elle aurait peut-être conduit à un autre mode de fondation. On pouvait préférer asseoir le mur-barrage et les piles sur la marne étanche et les fonder à l'air comprimé par caissons perdus. On eût évité la construction d'un mur de protection, dont nous parlerons plus loin, tout à fait analogue à celui de l'ouvrage de garde. Il en serait résulté une économie de temps et d'argent; mais, au point de vue de la solidité, on ne peut regretter que l'usine repose sur un sous-sol de sable et gravier incompressible, au lieu de porter directement sur la marne qui n'aurait peut-être pas résisté, sans tassement, aux charges directes et concentrées des piles et du mur de retenue.

Quoi qu'il en soit, la nécessité d'un radier comme base de fondation étant admise, l'éventualité que l'usine aurait à redouter les courants et les affouillements sous la charge d'amont, faisait de la parfaite exécution de ce radier, une condition indispensable à la sécurité de l'ouvrage.

Le radier devait être fondé à 7 mètres au-dessous du niveau moyen des eaux naturelles.

La perfection qu'il fallait réaliser dans l'exécution des maçonneries, ne pouvait s'obtenir qu'en construisant à sec. Le béton coulé sous l'eau à l'intérieur de trémies, quelles que soient les précautions dont on s'entoure, peut donner lieu à des malfaçons dans la liaison des couches, soit entre elles, soit avec le sol naturel. Sous l'eau, on ne peut débarrasser complètement le sol ou le béton, ni des laitances, ni des dépôts de vase et sable fin produits par les eaux troubles qui se déversent des godets de drague ou d'excavateur. L'expérience a fait reconnaître que ces dépôts, en particulier,



VUE D'AVANT DE L'USINE-BARRAGE

à la profondeur de 7 mètres, peuvent atteindre 50 centimètres d'épaisseur et qu'il est très difficile, même en les reprenant à la drague, de les enlever complètement. Sous l'eau on ne peut pas, non plus, étendre sur le sol ou le béton nettoyé, un enduit de mortier de ciment nécessaire à la liaison des couches.

D'un autre côté, la nature du sol et les essais d'épuisement ne laissaient aucun doute sur l'impossibilité d'épuiser les fouilles de fondation de l'usine. Dans un puits d'essai, de 1<sup>m</sup>,50 sur 1<sup>m</sup>,50, descendu à 3 mètres au-dessous du niveau naturel des eaux, on rencontra une mince couche d'argile rouge de 2 à 3 centimètres d'épaisseur et, brusquement, le niveau de l'eau se releva de 1<sup>m</sup>,50 dans le puits : à partir de ce moment, une pompe centrifuge ordinaire fut impuissante à abaisser le plan d'eau. Ce fait tient à ce qu'il existe dans la vallée du Rhône deux nappes d'eau distinctes : la nappe supérieure provient des sources de la balme et des plateaux, la nappe inférieure, des infiltrations du Rhône. Suivant la nature, la pureté, la finesse des sables, la grosseur des graviers, les infiltrations rencontrent des canaux souterrains plus ou moins larges et la difficulté d'épuisement est très variable. Il eût été tout à fait impossible d'épuiser la fouille de l'usine, tandis qu'à l'origine du canal on réussit, comme nous l'avons dit, à épuiser des surfaces de plusieurs hectares avec deux ou trois pompes centrifuges.

Dans la nécessité de faire les fondations à sec et dans l'impossibilité d'épuiser, il ne restait qu'à recourir à l'emploi de l'air comprimé : c'est ce qui fut décidé dès le début des travaux.

*Fouilles.* — Les fouilles furent faites par un excavateur se déplaçant dans le sens de la longueur du barrage. Elles présentèrent de grandes difficultés en raison de la profondeur d'eau : 8 mètres en pleine fouille et 9 mètres dans les garde-radriers. Les talus de sable et gravier, prenant sous l'eau une inclinaison très douce (moins de 2 pour 1), étaient entamés par les godets montants et il fallut recourir au tambour dont nous avons parlé au paragraphe I, pour rejeter en avant la chaîne des godets. L'installation ne réussit qu'après de longs tâtonnements et de petits éboulements se produisirent jusqu'à la fin, sous le poids de l'excavateur et des wagons. On dut retenir les terres sous la voie à l'aide de pieux et palplanches solidement amarrés. En somme, les fouilles furent longues et dispendieuses ; il eût été préférable d'installer, dès le début, une drague qu'on aurait montée sur place. C'est le conseil que nous donnerions dans des cas analogues, c'est-à-dire dans des terres à talus naturel très doux et à la profondeur de 8 mètres.

*Coulage du béton à l'air comprimé par caissons mobiles* (pl. XXIX, fig. 1, 2 et 3). — Le coulage du béton du radier se fit à l'aide de deux cloches ou caissons mobiles *aa* (fig. 1). Chacune de ces cloches était suspendue à une grue ou pont roulant qui se déplaçait sur une voie portée par deux passerelles de service *dd*, l'une à l'amont, l'autre à l'aval de la fondation. La suspension de la cloche par tiges et vérins (fig. 2 et 3), permettait un mouvement vertical. Les caissons pouvaient donc être animés de deux mouvements : un mouvement d'entraînement horizontal avec le pont roulant et un mouvement propre de soulèvement ou d'abaissement.

Chaque caisson affectait la forme d'un prisme rectangulaire et présentait 20 mètres de longueur, 4 mètres de largeur et 4<sup>m</sup>,75 de hauteur (fig. 4, 5 et 6). Il était constitué, comme un caisson ordinaire, par une charpente métallique bordée de hausses verticales et divisée par un plafond horizontal en deux compartiments : le compartiment inférieur ou chambre de travail et le compartiment supérieur simplement destiné à contenir la surcharge de moellons, fer, fonte, etc., nécessaire à l'immersion.

L'ossature métallique de ces caissons se composait de fermes distantes de 1<sup>m</sup>,12 d'axe en axe. Chaque ferme était formée essentiellement de deux montants verticaux en fers cornières, reliés horizontalement par des entretoises au niveau du plafond, contreventés par une croix de Saint-André dans le compartiment supérieur et renforcés par des jambes de force dans la chambre de travail. Sur les montants, étaient rivées les hausses du caisson ; sur les entretoises, les tôles du plafond. Les tronçons de la construction étaient assemblés par rivets. L'étanchéité des joints était obtenue par une rivure soignée et par l'interposition de feuilles de papier entre les tôles. Du béton de ciment coulé entre les entretoises, sur une hauteur de 0<sup>m</sup>,45, augmentait la rigidité de ces pièces sur lesquelles se reportait la plus grande partie des efforts de poussée.

La communication entre l'extérieur et la chambre de travail, se faisait par un sas à air ordinaire pouvant contenir six personnes et servir à la sortie des déblais et à l'introduction des matériaux (pl. XXXIV, fig. 1 et 2). Ce sas se prolongeait par un tuyau de descente de 0<sup>m</sup>,80 de diamètre, formé d'une série d'anneaux avec échelle intérieure. L'éclusage se faisait à l'aide de deux robinets fixés, l'un au tuyau de descente, l'autre à la paroi du sas ; la porte extérieure et le clapet intérieur se fermaient hermétiquement par l'interposition de bourrelets en caoutchouc.

Le béton qui formait le gros cube de maçonnerie à exécuter à l'intérieur de ces caissons, était introduit par deux sas à air, de hauteur variable, suivant la profondeur d'immersion, formés de tuyaux de 0<sup>m</sup>,80 de diamètre

(pl. XXXIV, fig. 3, 4, 5, 6 et 7). Ces sas s'ouvraient à la partie supérieure par un clapet circulaire à manette, mobile autour d'une charnière et muni d'un joint de caoutchouc; à la partie inférieure, ils se partageaient en deux tubulures coudées et fermées, chacune, par une portière circulaire à charnière et joint de caoutchouc. Une tige à vis et écrou, mobile autour d'un axe fixe, pénétrait dans une fourche du support du clapet et produisait, par le serrage de l'écrou, la fermeture de la tubulure.

La cloche mobile était suspendue à la grue roulante par dix vérins dont les tiges filetées s'adaptaient aux montants du caisson à l'aide d'une ou plusieurs rallonges, suivant la profondeur d'immersion.

Le pont ou grue roulante (pl. XXIX, fig. 7, 8, 9) se composait de deux chevalets en forme de trapèze, portés chacun sur un rail par quatre galets de roulement. Le chevalet mesurait 13<sup>m</sup>,25 de longueur à la base et 3<sup>m</sup>,61 de hauteur; ses quatre côtés étaient formés de nervures à caisson. Les deux chevalets étaient reliés par deux poutres droites triangulées, de 21<sup>m</sup>,50 de longueur et de 3<sup>m</sup>,50 de hauteur, formant entretoises et portant les vérins sur des poutres en bois, au-dessus de chacun des nœuds supérieurs de la triangulation. Ces longues entretoises étaient contreventées horizontalement par des croisillons en fer cornière, à leur partie supérieure, et par des poutres en bois, à leur partie inférieure.

Chaque vérin portait un poids maximum de 2.100 kilogrammes.

Les galets de roulement mesuraient 1<sup>m</sup>,03 de diamètre; ils étaient mis en mouvement, au moyen d'un volant à bras, par l'intermédiaire d'engrenages. Le roulement se produisait dans une gorge de la roue au contact d'un fer plat. Ce fer était fixé à une poutre formée elle-même de deux âmes inclinées, d'une semelle et de deux cornières à la partie inférieure et supérieure. La poutre était portée par la file intérieure de pieux de la passerelle de service. La tête des pieux était entaillée en forme de tenon que la poutre recouvrait comme un chapeau.

Les passerelles de service (pl. XXIX, fig. 1, 2 et 3) se composaient de palées distantes de 4 mètres d'axe en axe et formées chacune de deux pieux, écartés de 2<sup>m</sup>,50, battus à refus à 7 mètres de fiche, moisés et contreventés; les pieux de la file intérieure qui supportaient le poids des caissons, présentaient 0<sup>m</sup>,40 de diamètre; ceux de la file extérieure 0<sup>m</sup>,30.

Les passerelles portaient un plancher de 3 mètres de largeur pour la circulation et le service des matériaux. Sur le plancher de la passerelle amont, était installée une voie normale de 1<sup>m</sup>,44.

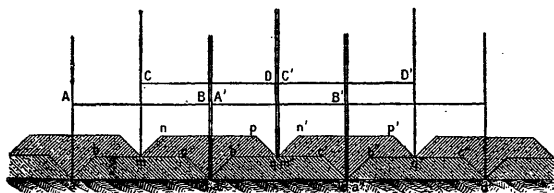
Les ponts roulants portaient deux planchers: l'un au niveau des nervures inférieures des entretoises, pour l'accès du caisson et le service des



maçonneries, l'autre, au niveau supérieur, pour recevoir les hommes qui manœuvraient les vérins à la remonte et à la descente des caissons.

L'approche des matériaux se faisait par l'intermédiaire d'un wagon ordinaire de ballast sur lequel on avait installé une large plate-forme munie, dans le sens de la largeur, de trois voies Decauville.

Les wagonnets chargés de matériaux arrivaient, des lieux de dépôt ou des bétonnières, sur un appontement *e* au niveau du wagon, les voies de la plate-forme en face des voies de l'appontement. Ils passaient de l'appontement sur le wagon, étaient transportés par le wagon en face du pont roulant, et, par une manœuvre analogue à la précédente, passaient de la plate-forme du wagon sur le plancher inférieur du pont roulant.



(9)

Voici comment, avec cette installation et deux cloches mobiles seulement, on put en six mois, fonder le radier et sortir de l'eau les piles de l'usine, autrement dit, couler 11.200 mètres cubes de béton et construire 4.000 mètres cubes de maçonnerie.

Le caisson étant amené dans la position AB (9), on coulait le trapèze *abcd* de 0<sup>m</sup>,50 de hauteur puis on soulevait le caisson de la même hauteur pour l'amener, par un mouvement de translation, dans la position parallèle A'B'. On l'abaissait de nouveau de 0<sup>m</sup>,50 pour couler le trapèze *a'b'c'd'* et ainsi de suite, de façon à obtenir, sur toute l'étendue de la fouille, une première couche de béton de 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur ne présentant que des vides triangulaires *ca'b'*, *c'a''b''*, etc. Dans une deuxième passe, on amenait le caisson en CD, à cheval sur deux tranches consécutives de la première passe; on fermait, à ses deux extrémités, la rigole *ca'b'* par un petit batardeau, on l'épuisait avec des écopés, on la nettoyait soigneusement, on la repiquait, on appliquait du mortier de ciment à sa surface et on la remplissait de béton de ciment. On coulait ensuite la tranche *mnpq*, on amenait le caisson dans la position CD' et ainsi de suite. On obtenait ainsi une deuxième couche de béton de 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur où il n'existait de vide que les rigoles *pm'n'*.

Ce système de fondation réussit parfaitement. Les bétons se composaient de 1 mètre cube de sable et gravier et de 180 kilogrammes de chaux du Teil. Lorsque les cloches mobiles recouvraient les couches successives de béton, vingt jours après leur coulage, la chaux du Teil commençait à peine à faire prise et la liaison des bétons, anciens et nouveaux, se faisait facilement au contact d'une couche de mortier de ciment.

La seule difficulté que l'on rencontra et qui occasionna un retard d'au moins deux mois, fut le nettoyage de la fouille et des couches successives de béton. Ainsi que nous l'avons dit, les dragages à l'excavateur avaient produit des dépôts de 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur. Le nettoyage s'opéra de plusieurs façons : 1° En rejetant une partie de ces dépôts en dehors des caissons par la pression de l'air ; à cet effet, on entourait le couteau du caisson d'un bourrelet de mortier de ciment en laissant, à la tête aval, une seule ouverture : l'air en excès s'échappant, par intermittence, de cette ouverture, entraînait les matières ténues qu'on prenait soin d'amonceler dans cette partie du caisson. Ce système avait l'inconvénient de rejeter les vases et laitances sur d'autres parties de la fondation où il fallait les reprendre. 2° En chargeant les dépôts dans des bennes et en éclusant ces bennes dans le sas à air. 3° En ayant recours au système très pratique d'expulsion des vases par éjecteur (pl. XXXIV, fig. 8). L'éjecteur est un simple tuyau de fer de 0<sup>m</sup>,07 de diamètre qui traverse le plafond de la chambre de travail. Il est muni d'un robinet-vanne et se termine, par un tuyau de caoutchouc, à l'intérieur du caisson. Le robinet fermé, on amasse les matières à expulser en un petit tas autour de l'extrémité du tuyau de caoutchouc. On ouvre le robinet et l'air sous pression, sortant avec vitesse, entraîne les matières ténues. On peut recevoir ces matières dans un bateau et s'en débarrasser définitivement. Il importe que le tuyau ait un diamètre convenable : trop petit, il ne produirait pas d'entraînement ; trop grand, il causerait de fortes pertes d'air. Avec la soufflerie dont on disposait, compresseur à deux corps actionné par une locomobile de 20 chevaux, le diamètre de 0<sup>m</sup>,07 a été reconnu le plus convenable.

**Mur-barrage. Piles et Voûtes** (pl. XXV, XXVI et XXVII). — Le mur-barrage repose sur la partie amont du radier. Il mesure une hauteur de 17<sup>m</sup>,30 au-dessus de la fondation. Son profil est à parement vertical avec deux retraites, l'une au niveau de la salle des machines et l'autre à 3 mètres plus haut. L'épaisseur est de 4<sup>m</sup>,40 au niveau de la prise d'eau, de 2<sup>m</sup>,40 au couronnement arasé à 1<sup>m</sup>,50 au-dessus des plus hautes eaux du canal. En plan, le mur se raccorde par des arcs de cercle avec les piles et forme ainsi, une suite de voûtes surbaissées, à génératrices verticales, qui reportent leurs

pressions sur des contreforts calculés pour résister par leur seul poids à la poussée du barrage.

Les piles s'élèvent jusqu'au niveau de l'étage intermédiaire et mesurent 8<sup>m</sup>,50 de hauteur. Celles qui correspondent à des chambres de turbine génératrice, sont distantes entre elles de 8 mètres d'axe en axe. Elles présentent à la base une largeur de 3<sup>m</sup>,50 et un fruit de 0<sup>m</sup>,25 par mètre sur 4 mètres de hauteur. Au-dessus, elles ont une épaisseur constante de 2<sup>m</sup>,50. Celles qui correspondent à des chambres d'excitatrice, sont distantes entre elles de 5<sup>m</sup>,33 d'axe en axe. Elles présentent à la base une largeur de 3<sup>m</sup>,50 et un fruit de 0<sup>m</sup>,25 par mètre sur 4 mètres de hauteur. Au-dessus, leur épaisseur constante se réduit par une retraite à 2<sup>m</sup>,08. Ces dernières piles sont au nombre de deux et déterminent, avec les piles adjacentes ordinaires, trois chambres d'excitatrice.

Le mur-barrage et les piles sont construits entièrement en maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique du Teil. Exceptionnellement, sur 1 mètre d'épaisseur du mur-barrage, côté aval, et dans les premières assises des piles, on a fait usage du mortier de ciment.

A l'amont, le mur-barrage est renforcé par un avant-radier en béton qui remplit le vide triangulaire laissé par le talus de la fouille: cet avant-radier s'élève au-dessus de cette base en un massif rectangulaire de 11<sup>m</sup>,15 de largeur et de 7<sup>m</sup>,50 de hauteur, évidé par des chambres d'économie remplies de galets. Sur ce massif général qui fait corps avec le mur et constitue, de ce fait, une protection et un renforcement puissant du mur-barrage, sont construits des avant-becs de même axe que les piles, créant à l'amont autant de chambres distinctes que les piles en créent à l'aval.

Des ouvertures circulaires de 3 mètres de diamètre, pratiquées dans le mur et dans l'avant-radier, coudées à angle droit, mettent en communication les chambres amont et aval. Ces aqueducs reçoivent l'eau du canal d'amenée par un orifice horizontal et l'amènent aux turbines par un orifice vertical.

Sur les piles prennent naissance des voûtes surbaissées, de 6<sup>m</sup>,20 de longueur et de 0<sup>m</sup>,85 d'épaisseur à la clef, qui portent, au niveau moyen entre les plus hautes et les plus basses eaux, le premier étage où sont installées les turbines. Ces voûtes sont percées d'un orifice circulaire, de 2<sup>m</sup>,80 de diamètre, évasé vers le haut, formant siège des turbines.

Le premier étage est complété par une plate-forme, de 7<sup>m</sup>,60 de longueur, formée d'un hourdis en béton de ciment qui s'appuie sur des poutres métalliques encastrées dans les piles.

Les voûtes des chambres d'excitation sont en plein cintre.

Des ouvertures voûtées, pratiquées dans les piles, réservent, sur toute la

longueur du barrage, un couloir de 1<sup>m</sup>,10 de largeur et de 2<sup>m</sup>,50 de hauteur, pour la communication d'une chambre à l'autre de l'étage des turbines.

Au niveau de cet étage, les piles présentent à l'aval une retraite qui laisse extérieurement un libre passage de 1<sup>m</sup>,55 devant les ailes du bâtiment, et de 1<sup>m</sup>,05 devant le pavillon central. A ce même niveau, les piles se terminent par des avant-becs arrondis.

Les piles sont surmontées d'une deuxième série de voûtes ; celles-ci sont en plein cintre, de 12<sup>m</sup>,25 de longueur et de 0<sup>m</sup>,70 d'épaisseur à la clef. Elles sont percées d'ouvertures cylindriques de 3 mètres de diamètre, formant sièges des dynamos, de même axe que les sièges des turbines.

Ces deux séries de voûtes sont construites en béton de ciment de Portland.

Enfin, entre les deux étages, au niveau de la naissance des voûtes en plein cintre, est ménagée une plate-forme destinée à recevoir les appareils accessoires des turbines et des dynamos et à servir d'étage intermédiaire pour la manœuvre et la visite des machines. C'est un hourdis en béton de ciment porté par des poutres en fer encastrées dans les piles. Une suite d'ouvertures, ménagées dans les piles, forment un long couloir au niveau de cet étage intermédiaire.

*Mode de construction du mur et de l'avant-radier* (pl. XXX). — Le radier achevé et les piles élevées à 0<sup>m</sup>,30 au-dessus de l'eau à l'aide des cloches mobiles, on coula sous l'eau (fig. 1) un revêtement de béton *m n p q* d'environ 3 mètres d'épaisseur sur le talus amont de la fouille tout le long du barrage. Ce revêtement de béton, qui appartient au massif de l'avant-radier, servit de batardeau amont. On coula ensuite à l'intérieur de coffrages (fig. 1 et 2), dans le prolongement et sur la largeur de chaque pile, la partie *o r n s* en béton de ciment. Les chambres des turbines ainsi dessinées, il suffisait de les fermer successivement à l'aval et d'épuiser à l'intérieur de chacune d'elles pour achever à sec la construction du mur-barrage. La fermeture s'obtint au moyen de caissons flottants (fig. 4, 5 et 6) qu'on transportait d'une chambre à l'autre et qu'on échouait, à l'aval de chaque chambre, dans une retraite de la pile, ménagée à cet effet. Ces caissons qui pourront, en cours d'entretien, servir à l'épuisement des chambres, sont de petits bateaux-portes présentant la forme rectangulaire, de 6 mètres de longueur sur 3<sup>m</sup>,90 de hauteur. Malgré leur faible largeur qui n'est que de 0<sup>m</sup>,51, ils flottent, chargés, avec assez de stabilité pour être transportés d'une chambre à une autre sans danger de couler. Ils sont formés de fers cornières entretoisés et recouverts d'un bordage en tôle de 5 millimètres. Sur les côtés, les tôles

du bordage dépassent les montants de 0<sup>m</sup>,25 et sont renforcées par des cornières. Les caissons s'appuient contre les piles par ce prolongement du bordage.

L'emplacement du caisson parfaitement nettoyé par un scaphandre, on échouait le caisson en le chargeant de pièces de fonte et en le remplissant en partie d'eau. Pour assurer l'étanchéité du fond, on faisait établir, par le scaphandre, un solin en mortier de ciment le long du bordage inférieur (fig. 1) puis on bourrait d'argile les petites caisses latérales formées par le prolongement du bordage (fig. 6). Afin d'éviter le délavage et l'entraînement de l'argile sous la pression de l'eau, on reconnut l'utilité de l'enfermer dans une enveloppe de toile. A cet effet, on fixait la toile à 4 tringles verticales qu'on descendait dans les angles de la petite caisse latérale et l'on remplissait la toile d'argile qu'on pilonnait fortement.

L'étanchéité obtenue par ce système fut très satisfaisante. En abaissant le plan d'eau, on rencontrait seulement des fuites le long des côtés latéraux, on bouchait les trous avec de l'étoffe suiffée et de petits coins en bois enfoncés au marteau.

Les difficultés que l'on rencontra eurent d'autres causes et ces difficultés mirent en évidence le danger des filtrations auquel il importait de soustraire le mur-barrage.

Sous la pression des eaux filtrantes naturelles dont la charge pouvait atteindre 3 à 4 mètres seulement, le batardeau en béton *mnpq* (fig. 1), encore frais, il est vrai, fut traversé en quelques parties mélangées de laitances, principalement à la jonction du béton à l'air comprimé et du béton coulé sous l'eau. Il en résulta des canaux souterrains qui déterminèrent dans les chambres un énorme appel d'eau et amenèrent la projection de fortes quantités de sable, graviers et gros galets. En même temps, l'entraînement des matières produisait dans le sous-sol des excavations profondes; il devenait impossible de prolonger les épuisements : on aurait provoqué de nouveaux entraînements de matières et l'on serait vite arrivé à l'impossibilité d'abaisser le plan d'eau. Il ne restait qu'à enlever, sous l'eau, au scaphandre, les matières projetées puis à démolir la mauvaise maçonnerie autour des entonnoirs. On bouchait les canaux souterrains par un coulis de mortier de ciment à l'intérieur d'un tube, en ayant soin d'enfoncer le tube dans la cavité, aussi profondément que possible, sans produire d'éboulement et en faisant pénétrer le mortier dans les vides par la pression d'un tampon de bois. Le scaphandre reconstruisait sous l'eau la partie démolie du batardeau, et, au bout de quelques jours, on pouvait épuiser sur la fondation ainsi réparée.

**Salle des machines** (pl. XXVI). — La salle des machines se compose de deux ailes et d'un pavillon central sans mur de refend. L'aile de rive droite mesure une longueur de 56<sup>m</sup>,35 ; l'aile de rive gauche, 64<sup>m</sup>,80 avec le vestibule d'entrée ; le pavillon central, 31<sup>m</sup>,25, ce qui porte à 152<sup>m</sup>,40 la longueur totale du hall.

Le sol de la salle des machines est établi à 3<sup>m</sup>,50 au-dessous du niveau maximum des eaux.

Le mur de façade amont s'appuie sur le mur-barrage lui-même ; le mur de façade aval repose sur les piles et les voûtes. Dans les ailes, le mur d'aval est en retraite de 1<sup>m</sup>,55 sur la tête des voûtes, réservant ainsi un balcon de même largeur le long de la façade aval ; dans le pavillon central, le mur d'aval rachète la retraite des voûtes par deux saillies successives et le balcon se trouve supprimé. La largeur de la salle des machines est ainsi de 10<sup>m</sup>,40 dans les ailes, de 11<sup>m</sup>,95 et de 12<sup>m</sup>,40 dans le pavillon central.

A l'amont, un libre passage est réservé entre le mur de façade et les chambres d'entrée d'eau (pl. XXVII, fig. 1 et 3). De plus, les piles avant-becs sont réunies par des voûtes qui établissent une passerelle de service de 1<sup>m</sup>,20 de largeur pour la circulation des agents, la visite et la manœuvre des appareils de vannage.

Les ailes de l'usine sont recouvertes d'une toiture en tuiles que porte une charpente métallique rivée (pl. XXVIII, fig. 1, 2, 3, 4 et 5). Les fermes de la charpente, distantes de 4 mètres, se composent chacune de deux solides arbalétriers et de deux entrails inclinés réunis par un poinçon, par des montants et des diagonales. Les pannes sont métalliques, écartées de 2<sup>m</sup>,40 d'axe en axe : elles supportent des chevrons en sapin auxquels est fixé un voligeage assemblé à rainure et languette. Sur une longueur de 80 mètres, chacune des ailes est surmontée d'un lanterneau vitré dont la charpente repose sur les fermes principales. Des évidements ménagés sur les tôles des côtés longitudinaux servent à l'aération ; ils peuvent être ouverts ou fermés par des tôles de recouvrement manœuvrées avec des chaînes à l'intérieur de l'usine. L'aération de l'usine est, en outre, assurée par des cheminées qui débouchent à la partie supérieure du pavillon central.

Le pavillon central est couvert par un dallage en ciment armé que porte une charpente métallique (pl. XXVIII, fig. 10, 11, 12). La charpente se compose de poutres paraboliques à treillis. Sur chacune des plates-bandes s'appuient des dalles jointives en ciment armé. Les dalles supérieures (fig. 13 à 16) présentent 2<sup>m</sup>,70 de portée et 0<sup>m</sup>,95 de largeur. Elles sont renforcées par une nervure suivant leur axe longitudinal et réunies deux à deux par une nervure de joint. Les dalles inférieures (fig. 17 à 20) présen-

tent 2<sup>m</sup>,62 de portée et 1 mètre de largeur et sont renforcées par des nervures sur chacun de leurs bords. Toutes ces nervures sont formées d'une tige ronde de 20 ou 25 millimètres de diamètre reliée au quadrillage par un treillis d'acier de 4 millimètres de diamètre. Le treillage se fabrique sur un cadre en bois ; les aciers, posés les uns sur les autres dans la position qu'ils doivent occuper, sont liés à leur point d'intersection par des fils fins ; le grillage terminé est cintré pour recevoir les nervures. L'ossature complétée est posée sur un moule en bois dont les côtés sont démontables ; le mortier de ciment, au dosage 600 kilogrammes, est coulé en dessus et en dessous du treillage, de façon à le noyer dans le ciment. Pour assurer l'étanchéité de cette double couverture du pavillon central, on a recouvert le dallage supérieur de deux couches d'asphalte.

Le pavillon central détermine un pignon (pl. XXVI, fig. 1) avec chacune des ailes du bâtiment. Ce pignon est fermé par une double cloison en ciment armé, portée par un comble. Le comble est formé de la poutre de rive du pavillon central et de la dernière ferme renforcée de la charpente de l'aile. La poutre et la ferme sont réunies par des montants. Les cloisons simples présentent 0<sup>m</sup>,06 d'épaisseur. L'ossature métallique est un treillage vertical, tout à fait analogue à celui que nous venons de décrire, construit sur place dans les cadres déterminés par les montants : le ciment a été coulé à l'aide de petits coffrages.

L'éclairage de la salle des machines est assuré par de larges fenêtres pratiquées dans les deux façades. Le cadre est métallique, le vitrage à verre martelé.

Un escalier intérieur en maçonnerie établit la communication entre les différents étages à l'entrée de l'usine (pl. XXV, fig. 2 et pl. XXVI, fig. 1).

Un escalier en fer, à vis, tournant autour d'un noyau creux, donne accès de la salle de l'usine à la terrasse.

A l'intérieur de la salle, l'élargissement du pavillon central est réservé à l'installation d'un tableau auquel aboutissent, par des caniveaux ménagés dans le béton du sol de l'usine, les câbles des dynamos (pl. XXVI, fig. 2, 3 et 4).

Un plancher, établi au-dessus de la porte du pignon d'entrée, reçoit un second tableau réuni au tableau central et aux feeders de la canalisation (fig. 1, 2, 5 et 6).

La banquette du mur-barrage, à 3 mètres au-dessus du sol de l'usine, est utilisée pour l'installation des treuils de manœuvre des vannes extérieures et pour la circulation des personnes étrangères au service.

La manœuvre des grosses pièces qui entrent dans les turbines et dans les

dynamos, s'effectue à l'aide d'un pont et d'un chariot roulant que nous décrirons au chapitre suivant. Les évidements de 3 mètres pratiqués dans les voûtes du sol de l'usine, correspondant à l'emplacement de chaque dynamo, ont été, à dessein, prévus plus larges qu'il ne convenait à l'installation de ces machines, afin de faciliter le montage des turbines dont les lourdes pièces sont descendues par ces ouvertures.

Le pont se déplace sur un chemin de roulement formé de deux poutres métalliques reposant sur des piliers par l'intermédiaire de plaques de fonte (pl. XXVII, fig. 1).

*Nature des maçonneries et des matériaux.* — Les murs de la salle des machines sont construits en moellons bruts et recouverts, à l'extérieur et à l'intérieur, d'un enduit de ciment avec sable de la Saône.

Les pierres d'appareil (corniches, consoles, dés, garde-corps, modillons, etc...) sont toutes artificielles. Certaines pierres, telles que les pierres d'assises des pilastres, ont été faites sur place en ciment lent, mais la plupart ont été fabriquées, avant la pose, en ciment prompt de Grenoble. Les moules démontables employés à la fabrication étaient eux-mêmes en ciment. Dans de longues caisses en bois, inclinées, munies d'un petit côté mobile, on brassait les matières au dosage de 1 mètre cube de petit gravier pour 450 kilogrammes de ciment prompt; on ajoutait l'eau et l'on gâchait fortement le mélange. Le gâchage effectué, on ouvrait la portière en ayant soin de laisser couler d'abord du mortier qu'on appliquait sur le fond et sur les parois savonnées du moule. Le moule rempli, on enfonçait les cailloux saillants du béton de façon à faire refluer le mortier et, par ce simple tour de main, on obtenait des pierres à parement lisse comme du marbre poli. Au bout de quelques heures on pouvait démouler.

La prise était complète 2 jours après.

Le bardage, le lavage jusqu'à 15 mètres de hauteur et la pose de ces pierres dont quelques-unes pesaient plus de 1.000 kilogrammes, se sont faits facilement au moyen d'une grue élévatoire que nous devons décrire en quelques lignes parce qu'elle est d'une installation simple, susceptible de fréquentes applications sur des chantiers de construction.

Cette grue (pl. XXX, fig. 7 et 8) est portée, avec sa machine et son mécanisme, par un truc à trois essieux roulant sur une large voie. La charpente en bois consiste en un mât vertical et quatre contrefiches assemblées au mât par des goussets en fer et reliées entre elles par des moises horizontales. A son extrémité, le mât porte une volée articulée formant balancier autour de son axe de rotation. Un câble métallique soulève les fardeaux



par la chape d'une poulie à gorge : l'un des brins de ce câble est fixé à l'extrémité de la volée, tandis que l'autre se retourne sur des poulies le long de la volée et s'enroule sur un treuil.

La charge soulevée est mise en place par un mouvement d'oscillation de la volée, commandé par un treuil à main et transmis par un câble fixé au balancier. Une chaîne de sûreté arrête le balancier dans la position qu'il ne doit pas dépasser pour la sécurité.

Pour une grue de 2 tonnes, on avait installé une machine verticale de 6 chevaux actionnant un arbre moteur *c*. Cet arbre transmet son mouvement au treuil *t* par deux engrenages et fait tourner deux roues coniques qui embrayent à volonté avec une roue montée sur l'arbre *d*. Par une double transmission d'engrenages, l'arbre *d* produit le mouvement d'avant et d'arrière du chariot suivant la position de l'embrayage. Un mouvement de débrayage et un frein pour le treuil élévateur, sont établis en *f* à la portée du mécanicien.

Les pierres factices ont permis de construire la façade aval en très peu de temps et à un prix relativement bas. Elles s'harmonisent parfaitement avec le reste de la construction. La décoration de la façade principale, étudiée d'ailleurs avec beaucoup de soin par M. Tournaire, architecte du gouvernement, ancien prix de Rome, donne à l'édifice une expression à la fois simple et imposante, parfaitement en rapport avec son caractère d'utilité.

Pour préserver les pierres factices et les enduits de mortier de ciment des atteintes de la pluie, de la chaleur et de la gelée, on a fait usage du fluosilicate, ou, par abréviation, fluaté de zinc dissous dans l'eau. Ce sel, introduit par brossage dans la pierre ou l'enduit, s'y fixe en matériaux insolubles, silice, spath fluor et carbonate de zinc, tandis qu'il se dégage dans la réaction de l'acide carbonique. La quantité de sel à introduire, en une ou plusieurs couches est de 110 grammes par mètre carré de parement. La pénétration du liquide dans la pierre est d'environ 1 centimètre. Les surfaces à imbiber doivent être bien nettoyées et bien sèches : deux imbibitions doivent se succéder à un intervalle d'au moins vingt-quatre heures.

La salle des machines est carrelée en carreaux de Maubeuge.

Les parements intérieurs des murs, jusqu'à la hauteur de 1<sup>m</sup>40 au-dessus du sol, sont protégés par un revêtement en céramo-cristal, dont nous croyons devoir dire quelques mots en raison de la nouveauté de ce produit.

*Céramo-cristal.* — Le céramo-cristal, ou pierre céramique Garchey, est le produit de la dévitrification obtenue par le ramollissement du verre suivi

d'un refroidissement lent. Le verre redevient opaque comme les éléments qui le composent ; il prend l'apparence de la pierre, du marbre, de la poterie, de la porcelaine et des nuances diverses, suivant les éléments de sa composition. Les verres qui conviennent le mieux à la dévitrification sont les verres à base de soude, c'est-à-dire les verres les moins chers, tels que les verres de bouteilles. Lorsque la pierre céramique est à l'état pâteux, elle peut se mouler et affecter des formes décoratives.

Pour fabriquer la pierre céramique, on commence par bien laver et sécher le verre ; on le broie et on le divise en plusieurs catégories, depuis la poussière de verre jusqu'au fragment de 1 à 2 centimètres ; toutes ces opérations, sauf le lavage, se font mécaniquement.

Les fragments sont placés à l'intérieur de moules en sable, par ordre de grosseur, les gros fragments en dessous, la poussière de verre en dessus : les moules en sable sont établis sur des plaques réfractaires et façonnés eux-mêmes à l'aide de formes en tôle démontables. Ces moules de sable et leur contenu sont introduits dans un four à plusieurs étages puis retirés lorsque, sous l'effet de la température, les matières sont arrivées à l'état pâteux. Ces matières sont alors introduites sous une presse hydraulique, entre un plateau et une matrice d'acier coulé qui affecte, en creux, les formes en relief de la pièce à produire : celle-ci est modelée par l'action de la presse et en même temps découpée par des couteaux qui donnent aux arêtes une parfaite régularité. Elle est ensuite transportée dans un four où elle est soumise pendant plusieurs jours à un refroidissement lent.

Par suite de la superposition des fragments de verre par ordre de grosseur, le dessous des pièces offre des aspérités propres à leur prise avec le ciment et le dessus offre des surfaces lisses. Le parement peut d'ailleurs être poli à la meule lorsque la pièce est terminée.

Si l'on a soin de disposer convenablement des verres de couleur à la partie supérieure, on peut obtenir des veines qui donnent à la pierre céramique l'apparence du marbre : les inventeurs espèrent d'ailleurs, d'ici peu, obtenir, par des émaux, toutes les colorations.

La pierre céramique présente l'avantage d'une grande solidité : elle résiste également bien à l'écrasement, au choc, au frottement et à la gélivité.

Grâce à ces qualités, la pierre céramique peut être appelée à des applications diverses, si son prix de fabrication s'abaisse suffisamment.

**Conditions de résistance.** — Le mur-barrage proprement dit a été calculé de façon à résister comme mur droit aux charges maxima. On a supposé,

dans le calcul des piles, que le mur travaillait comme voûte entre deux piles et transmettait intégralement à celles-ci les poussées qu'il recevait. Dans ces conditions, on a trouvé que la charge maxima ne dépassait pas 4 kilogrammes par centimètre carré à la base des maçonneries, avec des coefficients de stabilité supérieurs à 2.

**Raccordements de l'usine-barrage avec ses abords** (pl. XXV). — L'usine-barrage se termine, rive droite, au bajoyer de l'écluse avec lequel elle fait corps ; rive gauche, elle pénètre profondément dans la balme par un prolongement du mur établi en gradins. A l'amont, les talus du canal, protégés par un revêtement en maçonnerie mixte de moellons bruts et de béton, se raccordent avec ce tenon comme avec un mur en retour. A l'aval, un mur élevé dans le prolongement du dernier arrière-bec, à la hauteur de la salle de l'usine, retient une terrasse qui forme cour d'entrée de l'usine. A l'aval de ce mur, les talus du canal de fuite sont protégés par un mur de pied et des enrochements.

**Bâtiments annexes** (pl. XXV). — Deux bâtiments sont annexés à l'usine, l'un pour les réparations ordinaires des outils, pièces de turbines, dynamos, l'autre pour le laboratoire et le logement du chef et sous-chef de station de l'usine.

L'atelier comporte un rez-de-chaussée de deux pièces, forge et ateliers ; un premier étage est réservé au logement des mécaniciens de l'atelier et de l'usine.

La maison d'habitation comporte, au rez-de-chaussée, un grand laboratoire pour les expériences et les essais des pièces en cours d'exploitation, un petit laboratoire pour la photométrie et la photographie ; un premier étage est réservé au logement du personnel.

Ces bâtiments qui ont nécessité par leur position aux abords de l'usine des aménagements dispendieux, ne ressortent pas des maisons ordinaires d'administration. Disons seulement que, par raison d'économie, les murs et les voûtes ont été construits en pisé de mâchefer, à la façon de beaucoup de constructions lyonnaises. Le mâchefer ou scorie de forges, qui provient des hauts-fourneaux de la région, est mélangé à la chaux lourde du pays dans la proportion de 230 kilogrammes pour 1 mètre cube de mâchefer et arrosé comme dans la fabrication du béton ordinaire. Le pisé obtenu par ce mélange est coulé entre des coffrages démontables et pilonné à la dame. Ces coffrages se composent de deux panneaux de planches parallèles reliés par des tiges à vis et boulons. On élève la construction par assises de la hau-

teur du coffrage en interposant une couche de mortier de chaux lourde entre deux assises consécutives. Les voûtes des plafonds et des planchers ont été exécutées de la même façon, en pisé de mâchefer. Ces constructions sont solides et légères. Aux environs de Lyon elles sont économiques en raison du bas prix du mâchefer (3 francs le mètre cube).

**Utilisation du canal de Jonage pour la distribution des eaux de Lyon et de Villeurbanne.** — D'après l'article 40 de son cahier des charges, la Société lyonnaise des Forces Motrices du Rhône peut être autorisée à concéder, moyennant redevance, une partie de l'eau du canal, soit pour l'industrie, soit pour l'arrosage des terres.

Le plan d'eau dans le canal est en moyenne à 10 mètres au-dessus des quartiers de la rive gauche et de la presqu'île de la ville de Lyon. Il est à 6 mètres au-dessus d'une notable partie de la commune de Villeurbanne et des quartiers maraîchers de Monplaisir.

Le canal de Jonage constitue donc un réservoir d'eau indéfini où les villes de Lyon et de Villeurbanne pourraient puiser l'eau et la distribuer à profusion pour l'arrosage des rues, le nettoyage des égouts, l'irrigation des jardins, les usages industriels. On pourrait facilement rendre cette eau, ou une partie de cette eau, propre aux usages domestiques, en la recevant par des galeries filtrantes dans des bassins creusés aux abords du canal en amont de l'usine.

Si la pression était jugée trop faible, il suffirait de créer un réservoir sur la colline de Bron, à 20 mètres au-dessus du plan d'eau du canal et de refouler l'eau dans ce réservoir, avec la force motrice de l'usine, pour desservir toute la commune de Villeurbanne et les  $\frac{3}{4}$  de la ville de Lyon. C'est d'ailleurs la solution que Lyon a partiellement réalisée en prenant les eaux du Rhône au Grand Camp, 16 mètres plus bas que dans le Canal et en établissant une usine à vapeur pour le refoulement des eaux dans un réservoir de 20.000 mètres cubes sur la colline de Bron.

#### TRAVAUX DE PROTECTION AUX ABORDS DE L'USINE

**Travaux de protection antérieurs aux premiers essais de mise en eau.** — Les premiers travaux, destinés à protéger le mur-barrage contre les sous-pressions et les affouillements, ont consisté en un bétonnage du plafond du canal et des talus de rive gauche. Ce bétonnage, avec les murs et perrés de raccordement de l'écluse et le corroi de la digue de droite, devait réaliser

une cuvette étanche sur 500 mètres à l'amont de l'usine (pl. XXXI, fig. 1 et 2).

Le sol, sur lequel allait reposer le béton, étant de résistance très variable (terre végétale, argile ou gravier), avait été décapé dans les parties mauvaises et recouvert d'un remblai de sable et gravier de 1<sup>m</sup>,50 d'épaisseur moyenne, comprimé à refus par le cylindre à vapeur.

L'épaisseur du béton du plafond était variable suivant la distance au barrage : sur les 10 premiers mètres elle était de 0<sup>m</sup>,40 à 0<sup>m</sup>,25 ; sur les 40 mètres suivants de 0<sup>m</sup>,25 et elle descendait à 0<sup>m</sup>,10 sur les 340 derniers mètres.

Le revêtement du talus de la balme conserve une épaisseur constante de 0<sup>m</sup>,20 avec talus à 3 pour 1. Il repose sur le sol par des gradins ou redans horizontaux. Verticalement, il est ancré dans la balme, tous les 15 mètres, par des tranchées remplies de béton, de 0<sup>m</sup>,55 de profondeur, normales au plan du talus.

Pour rendre le béton étanche, on l'avait recouvert d'une couche d'asphalte de 15 millimètres sur les 50 premiers mètres, d'un enduit de coaltar à 2 couches sur 100 mètres et d'un enduit de coaltar à 1 couche sur les 350 mètres suivants.

**Travaux de protection postérieurs aux premiers essais de mise en eau.** — Aux essais de mise en eau de 1897, cette protection fut reconnue insuffisante. Des courants souterrains avec entraînement de matières, visibles à la surface de l'eau, se produisirent devant plusieurs chambres à l'aval de l'usine. De telles filtrations étaient un danger pour l'ouvrage, car, le sable entraîné, les canaux pouvaient s'agrandir, le vide se produire sous la fondation. On évacua alors les eaux du canal.

Après la vidange, on constata des ruptures du bétonnage en plusieurs points et des sondages révélèrent des failles et des canaux que l'eau avait suivis dans le terrain naturel ou rapporté. Le béton avait été traversé dans ses parties de faible épaisseur : on le reconnut aux entraînements de chaux.

Ces causes suffisaient à expliquer les filtrations sous l'usine, car on avait compté, d'après les calculs, que les eaux perdraient, dans leur parcours sous le bétonnage, une partie de leur charge telle qu'en sortant sous le barrage elles seraient incapables de produire des entraînements de sable et gravier. Toutefois, les formules auxquelles on peut recourir ne laissant pas que de présenter de grandes incertitudes, tant sous le rapport des hypothèses sur lesquelles elles reposent, que sous le rapport des valeurs à attri-

buer aux coefficients, on résolut, après cette expérience, de recourir à des travaux de protection d'aval en même temps qu'on renforcerait ce bétonnage d'amont.

*Mur garde-radier* (pl. XXVII et XXXII). — Un mur garde-radier de 4 mètres de largeur fut descendu, à l'aval de la fondation de l'usine, à 10 mètres au-dessous du plafond du canal, soit à 13<sup>m</sup>,50 au-dessous de l'étiage. A cette profondeur, on rencontra la couche de marne dont nous avons parlé. Recouverte sur 0<sup>m</sup>,50 d'argile jaune et molle, cette marne devient rapidement bleue, compacte et homogène. Sa formation, qu'on ne saurait classer en l'absence de fossiles, paraît tenir, d'après les géologues, à des dépôts du Rhône, à d'anciennes lônes qui se seraient formées au pied de la balme. Quoi qu'il en soit, cette couche est profonde; des sondages de 13 mètres ne l'ont pas traversée. Elle est absolument imperméable; le mur, encastré de 0<sup>m</sup>,50 au minimum dans cette marne, constitue devant l'usine une barrière infranchissable aux filtrations.

Les mêmes raisons que pour la fondation de l'usine, conduisirent à l'emploi de l'air comprimé pour l'établissement de ce mur. La profondeur de 10 mètres et le danger d'affouillements sous le radier de l'usine rendirent obligatoire l'usage de caissons perdus. Pour éviter et réparer les éboulements qui pouvaient se produire dans la descente des caissons perdus, on résolut même d'établir ce mur garde-radier à l'extrémité du talus de l'ancienne fondation et de reprendre tout ce talus à l'aide de cloches mobiles. De là, deux installations pour l'exécution de ces travaux d'aval.

*Fonçage des caissons perdus* (pl. XXXII, fig. 1, 3 et 4). — Les caissons perdus qui constituent le mur garde-radier sont au nombre de 11, dont 7 le long de la façade aval, un de retour le long de l'écluse double, deux de retour le long du mur de l'atelier et un d'ancrage dans la balme (rive gauche). Ces quatre derniers caissons ont pour but d'empêcher les eaux de filtration de longer le garde-radier pour sortir à son extrémité. Sur la rive gauche, ce danger était d'autant plus à craindre que des voies d'eau, provenant des sources naturelles de la balme, s'étaient produites pendant la construction au pied même du mur de soutènement de l'atelier. Par l'ancrage dans le talus de la balme, on pensa que le poids des terres aveuglerait les sources et l'expérience a justifié ces prévisions.

En établissant un seul caisson de retour le long de l'écluse, on a compté sur le poids des bajoyers pour s'opposer à la propagation des courants. Aucune voie d'eau ne s'est produite le long de l'écluse depuis la mise en eau de 1898.

Les caissons perdus présentaient 19<sup>m</sup>,90 de longueur, 4 mètres de largeur; la chambre de travail avait 2 mètres de hauteur. Des contrefiches au-dessous du plafond et des entretoises au-dessus du plafond, constituaient la charpente rigide de la construction. Les tronçons offraient 4<sup>m</sup>,24 de longueur; ils étaient assemblés entre eux par des boulons et des bandes de feutre. Il est résulté de cet assemblage, ainsi que nous l'avons dit, une plus grande rapidité dans le montage, mais la résistance en a souffert et l'on a dû renforcer le premier type de caisson adopté.

Le montage de ces caissons s'est effectué sur un ponton muni d'une plate-forme et d'une charpente, en vue du montage, du levage et de l'échouage (pl. XXXII, fig. 5 et 6). Deux flotteurs, construits pour cet usage, soigneusement calfatés par l'interposition de mousse et de lamelles d'osier dans les joints, consolidés par des pièces de support et de contreventement, étaient réunis par des longrines: sur ces longrines étaient installés un plancher mobile et quatre doubles palées, entretoisées et contreventées deux à deux de façon à former deux puissantes fermes de levage. Les tronçons, amenés par chariot sur la rive gauche du canal de fuite, étaient chargés sur un truc et descendus jusqu'à la plate-forme par un plan incliné. Le caisson monté jusqu'à la première hausse, le ponton était halé à l'aval de l'usine au point d'échouage. On suspendait le caisson par des crochets à des mouffles puis on le soulevait au moyen de chaînes et de treuils à noix. On enlevait le plancher mobile et on moulait jusqu'à ce que le caisson eût atteint la position de flottaison. On remplissait de béton de ciment l'intervalle entre les entretoises au-dessus du plafond de la chambre de travail et l'on achevait le chargement avec du béton de chaux hydraulique.

Chacun des caissons était muni d'un sas à double corne pour la sortie des déblais: ceux-ci étaient exécutés à la main à l'intérieur de la chambre de travail et remontés par des bennes actionnées par un treuil à air comprimé. Le treuil était installé, soit à la partie supérieure du sas, soit dans un logement latéral ménagé dans la cloche; il était muni du frein ordinaire à main ou du frein automatique Mégy.

Nous devons signaler ici une disposition très prudente imaginée par M. Vergé, entrepreneur, en vue d'éviter les accidents fréquents avec les sas à cornes (pl. XXXIV, fig. 9 et 10). Il peut arriver que l'homme chargé de la manœuvre extérieure, dévisse le boulon et ouvre le clapet *c* avant que l'homme de l'intérieur du sas n'ait fermé le clapet *c'*, d'ailleurs fixé par un crochet dans sa position d'ouverture et par suite incapable d'obéir à la pression. Il en résulte une sortie violente de l'air du sas et du caisson. L'homme

du sas peut être projeté dans la gaine et les hommes de l'intérieur du caisson peuvent être noyés, si le clapet de communication de la chambre de travail se trouve arrêté par le passage d'une benne ou du câble de suspension. Pour éviter ce danger, M. Vergé installe une tige rigide que l'ouverture du clapet *c'* immobilise dans la position *t* où elle forme taquet d'arrêt de l'écrou à manette du clapet *c*. Ce verrou traverse la cloche à l'intérieur d'un presse-étoupe et, suivant la position de la gaine, il se trouve soit en V soit en V'. Il en résulte que, dans la position d'ouverture du clapet *c'* qui correspond au remplissage de la gaine, le clapet *c* ne peut se manœuvrer et qu'il ne devient mobile qu'au moment où *c'* occupe sa position de fermeture, c'est-à-dire au moment où tout danger d'ouverture a disparu. Les exemples d'accidents mortels survenus par l'emploi des cornes à déblais sont nombreux et il nous paraîtrait prudent d'imposer, dans les cahiers des charges, des dispositions, telles que le verrou Vergé, propres à les éviter.

Nous croyons devoir encore noter ici un accident tout à fait inattendu et survenu en cours de travaux avec une cloche à air. Cet accident qui n'a causé fort heureusement que des blessures à un ouvrier, aurait pu avoir les conséquences les plus graves et il mérite l'attention de tous ceux qui font usage de cloches à air. Sous l'influence de la pression qui ne dépassait pas 2 atmosphères, la cornière d'attache A du sas à air et de la cheminée s'étant rompue (pl. XXXIV, fig. 1), le sas a été violemment projeté en l'air avec un ouvrier qu'il contenait. La cassure n'a révélé aucun défaut du métal. Le point faible paraît tenir à l'angle de la cornière A qui a dû s'ouvrir sous l'influence des vibrations de la cloche. Aussi devrait-on toujours réaliser la jonction du sas et de la colonne au moyen d'une tôle emboutie E (fig. 9) plus résistante et plus élastique qu'une cornière. Les cloches peuvent en effet éprouver de fortes oscillations sous l'influence des réactions des treuils, du poids des bennes, sous l'influence surtout des rentrées ou sorties subites d'air, que les ouvriers appellent le coup de gaine. Le coup de gaine auquel on a eu recours pour produire la descente des caissons dans l'argile, consiste à maintenir ouvert le clapet *c'* de 5 centimètres environ, au moyen d'une pièce de bois, lorsqu'on ouvre le clapet *c* : le clapet de communication du sas et de la chambre de travail étant également ouvert, l'air comprimé s'échappe en quelques secondes et le caisson se remplit d'eau. Cette opération qui équivaut à une augmentation brusque de poids, détermine la descente subite du caisson de quelques centimètres, généralement de 15 à 20 centimètres.

La descente et le remplissage du béton s'effectuèrent, sans autre inci-



dent, au moyen de hausses ajoutées au fur et à mesure de l'immersion. Les bétons furent coulés dans la chambre de travail, à l'aide de bétonnières de deux types différents. Les unes portaient, pour l'introduction des bétons, des cornes inclinées en sens contraire des cornes à déblais et demandaient, par prudence, l'adjonction du verrou de sûreté dont nous avons parlé. Les autres portaient latéralement une gaine munie de deux clapets s'ouvrant à l'intérieur (pl. XXXIV, fig. 11 et 12). Un petit tuyau reliait la gaine et la colonne de descente; muni d'un robinet à trois branches, il établissait la communication entre l'extérieur, l'intérieur de la gaine et l'intérieur de la colonne: de la sorte, le clapet  $c_1$  ne pouvait s'ouvrir de lui-même que lorsque le clapet  $c_2$  était fermé et l'inconvénient signalé plus haut était évité.

La principale difficulté que l'on rencontra, consista dans la jonction des caissons entre eux, et cette jonction présentait la plus grande importance en raison de l'étanchéité qu'il s'agissait d'assurer. A cet effet, le petit côté des caissons avait été muni de cornières disposées verticalement à recouvrement (pl. XXXIII, fig. 5). Les ailes qui ne laissaient entre elles qu'un jeu de quelques centimètres, constituaient une fermeture presque hermétique, car, dans la descente des caissons, elles arrivaient presque toujours à être jointives d'un côté. On s'efforça, en descendant les caissons, de déblayer sous les couteaux jusqu'à la paroi du caisson déjà échoué, mais ce travail ne put s'effectuer qu'incomplètement et l'on constata des sables et des graviers de reste au fond de la plupart des joints.

Le remplissage des joints se fit en béton de ciment coulé à l'aide d'une petite trémie et, pour réaliser la prise des sables et graviers, on les traversa par une injection de ciment liquide sous pression, (pl. XXXIII, fig. 4, 5, 6, 7).

On enfonçait, avec une petite sonnette, un tube d'injection de 65 millimètres de diamètre, de la forme des tubes en usage pour l'établissement des puits instantanés. Il se raccordait au-dessus de l'eau avec un tuyau à bride, surmonté d'un entonnoir, muni de deux robinets  $a$  et  $b$ , d'une vanne  $v$  en communication avec la prise d'air et d'un robinet d'équilibre  $r$ . La manœuvre est la suivante :

1° La vanne de prise d'air  $v$  et les robinets  $a$  et  $b$  étant fermés on remplit l'entonnoir de ciment liquide à la consistance d'un mortier mou. On ouvre le robinet  $a$  et la partie du tube au-dessus de l'eau se remplit de ciment liquide.

2° On ferme le robinet  $a$ , on ouvre simultanément le robinet  $b$  et la vanne  $v$ , de façon que le ciment se mélange le moins possible avec l'eau du tube.

3° Après quelques secondes, on ferme la vanne *v* au moment où l'air commence à s'échapper par les trous inférieurs du tube, en faisant en sorte de ne pas prolonger l'ouverture de la vanne *v* au delà de cet instant, parce qu'alors l'air entraînerait le ciment au loin et le ferait remonter à la surface de l'eau.

4° On ferme le robinet *b* et la vanne *v*, on ouvre le robinet d'équilibrage *r* et l'on peut recommencer l'opération.

Le service des matériaux, déblais ou béton, était fait sur une passerelle portée par des palées en bois que l'on établissait sur les caissons perdus au fur et à mesure de leur achèvement. Le béton était fabriqué, sur la rive gauche du canal, dans des bétonnières déjà décrites.

*Réfection du radier par cloches mobiles.* — Pour assurer l'efficacité du mur garde-radier, il restait à établir une liaison intime entre sa paroi métallique et l'ancienne fondation, (pl. XXXII, fig. 1, 7 et 8).

Le talus de béton qui avait coulé en dehors des cloches mobiles n'offrait pas d'ailleurs une garantie suffisante de bonne exécution. Il convenait de couper ce talus, de prolonger le radier jusqu'au nouveau mur et de liasonner ce béton avec la paroi métallique des caissons par l'interposition d'une couche de mortier de ciment.

Cette réfection fut faite à l'aide de deux cloches mobiles de 4 mètres de largeur, de 18 mètres de longueur, analogues à celles qui avaient servi pour les fondations de l'usine. Ces cloches se déplaçant cette fois-ci dans le sens de leur longueur, la grue de suspension était remplacée par un simple chariot circulant sur un chemin de roulement qui s'appuyait, d'une part, sur les piles de l'usine et, d'autre part, sur une file de pieux d'une passerelle de service.

Le délai ne permettant pas de couler cette partie de radier par couche de 0<sup>m</sup>,50 comme dans les fondations de l'usine, on procéda par hauteur de 3 mètres.

L'ensemble de ces travaux à l'air comprimé a comporté, en 8 mois, l'exécution de 9.800 mètres cubes de béton par caissons perdus et de 2.800 mètres cubes par cloches mobiles.

Le mur garde-radier a été protégé, à l'aval, par un arrière-radier de 6 mètres de largeur, de 2<sup>m</sup>,50 d'épaisseur moyenne, qui règne sur toute sa longueur. Cet arrière-radier en béton a été coulé à la trémie : il est défendu lui-même à l'aval par des enrochements (pl. XXXIII, fig. 1, 2, 3).

Ces travaux de protection d'aval ont répondu aux prévisions en arrêtant les filtrations anciennes.

*Réfection et consolidation du bétonnage d'amont* (pl. XXXI, fig. 3 et 4). Dans la reprise du bétonnage d'amont, on a distingué trois zones.

Dans la première zone, où le bétonnage primitif, assis sur un remblai cylindré, avait subi des mouvements, on a déblayé à l'excavateur jusqu'au gravier naturel pour asseoir le nouveau béton sur un terrain incompressible. Ce béton présente 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur sur 100 mètres de longueur à partir de l'usine, 0<sup>m</sup>,40 sur les 140 mètres suivants. Il est recouvert d'une chape d'asphalte de 0<sup>m</sup>,015 sur les 50 premiers mètres et d'une chape en mortier de ciment de 0<sup>m</sup>,03 d'épaisseur, enduite de coaltar, sur le reste de la zone.

Dans la deuxième zone, où le bétonnage primitif, assis sur le sable et gravier naturels, n'avait pas subi de mouvement sous la charge de l'eau, on a augmenté l'épaisseur du béton de 0<sup>m</sup>,15, ce qui a porté l'épaisseur totale à 0<sup>m</sup>,40 aux abords de l'usine et à 0<sup>m</sup>,30 à l'extrémité amont. Ce béton a été revêtu d'une chape en mortier de 0<sup>m</sup>,03 d'épaisseur, enduite de deux couches de coaltar.

Pour isoler l'usine de la deuxième zone, on a raccordé la première et la deuxième zone par un mur incliné, fondé au-dessous du niveau de la première zone (fig. 4).

Dans la troisième zone, où l'on avait constaté en plusieurs points des ruptures et des filtrations à travers le béton d'épaisseur insuffisante, on a refait les parties effondrées ou fissurées et recouvert toute la surface d'une chape en mortier de ciment en 0<sup>m</sup>,03 d'épaisseur, enduite de deux couches de coaltar.

---

## § 6. — ÉCLUSE DOUBLE

**Description** (pl. XXXV et XXXVI). — L'écluse double, du même type que l'écluse de garde, est attenante à l'usine-barrage. Elle se compose de deux sas dans le prolongement l'un de l'autre : le premier sas rachète une différence de niveau variable de 6 à 7 mètres, le deuxième une différence de 7 à 4 mètres.

Au lieu d'une écluse double, on aurait pu adopter une écluse simple de 14 mètres de chute et de 17<sup>m</sup>,40 de hauteur de bajoyer. Cette solution a été écartée pour plusieurs raisons. Il n'y aurait pas eu d'économie sensible dans la construction. Des portes de 17<sup>m</sup>,40 de hauteur auraient été d'une construction plus compliquée et d'une manœuvre plus difficile. Enfin la perte d'eau eût été doublée, l'écluse d'amont faisant l'écluse d'aval dans une écluse à 2 chutes. Or, si l'on considère que le passage d'un bateau correspond à une perte d'environ 10.000 mètres cubes d'eau dans l'écluse double, on voit qu'avec 10 éclusées par jour, on perdrait plus de 1 p. 100 de la force disponible et qu'avec une écluse simple, il faudrait doubler ce chiffre.

Le premier sas de l'écluse double est établi entièrement à l'amont du mur-barrage, le second sas entièrement à l'aval.

L'ouvrage repose sur un radier général en béton de 3 mètres d'épaisseur.

Sa longueur totale est de 254<sup>m</sup>,30 se décomposant ainsi :

Mur de défense d'amont. . . . .	3 <sup>m</sup> ,70
Chambre des portes amont . . . . .	9 <sup>m</sup> ,50
Mur de fuite d'amont. . . . .	10 <sup>m</sup> ,00
Sas courant amont. . . . .	87 <sup>m</sup> ,50
Mur de défense intermédiaire . . . . .	7 <sup>m</sup> ,50
Chambre des portes intermédiaires. . . . .	9 <sup>m</sup> ,50
Mur de fuite intermédiaire. . . . .	12 <sup>m</sup> ,79
Sas courant aval. . . . .	87 <sup>m</sup> ,91
Mur de défense aval . . . . .	7 <sup>m</sup> ,50
Chambre des portes aval . . . . .	9 <sup>m</sup> ,40
Mur de fuite d'aval. . . . .	9 <sup>m</sup> ,00
Total. . . . .	254 <sup>m</sup> ,30

Le mur de chute, immédiatement à l'aval des portes intermédiaires mesure 5<sup>m</sup>,80 de hauteur. Il est profilé suivant un arc de cercle avec une flèche de 1<sup>m</sup>,30.

Les bajoyers du sas amont ont une hauteur de 11<sup>m</sup>,30, les bajoyers du sas aval, une hauteur de 9<sup>m</sup>,60. La différence de niveau de 7<sup>m</sup>,50 entre les couronnements des bajoyers amont et aval est rachetée, du côté du bajoyer rive gauche, par un escalier à 45°; du côté du bajoyer rive droite, par une rampe de 0<sup>m</sup>,40 par mètre, qui forme le raccordement du chemin de halage du canal d'amenée et du chemin de halage du canal de fuite. Les remblais de cette rampe sont soutenus par un mur qui repose sur le bajoyer.

La largeur du couronnement du bajoyer de rive gauche est de 3<sup>m</sup>,935 pour le sas amont et de 2<sup>m</sup>,60 pour le sas aval. Le couronnement du bajoyer de rive droite, sas amont, présente seulement 3 mètres de largeur, mais ce bajoyer est adossé à un terre-plein de 40 mètres de largeur qui laisse toute facilité aux manœuvres de batellerie. Le mur de soutènement qui surmonte le bajoyer aval rive droite, réserve une largeur libre de 3 mètres entre son pied et l'arête du couronnement du bajoyer. Cette largeur est suffisante, le passage des chevaux se faisant sur la rampe.

Les bajoyers présentent des profils variables suivant leur position, et, d'une façon générale, ils ont été établis et calculés comme ceux de l'écluse de garde. Les bajoyers du sas aval offrent cette particularité qu'ils ont été établis de façon à présenter à leur base de larges massifs (pl. XXXVI, fig. 6) dont une partie *abcd*, exécutée en béton jusqu'au niveau ordinaire des eaux, devait servir de batardeau pour l'achèvement à sec de la construction.

Les dispositions générales de l'écluse double sont les mêmes que celles de l'écluse de garde, chambres des portes, enclaves, chardonnets, buscs, rainures, échelles, etc... Il en est de même des aqueducs et des vannes de remplissage et de vidange.

Les portes amont et intermédiaire sont exactement les mêmes que les portes de l'écluse de garde. La porte d'aval n'en diffère que par la hauteur. Toutefois, les appareils de manœuvre des portes de l'écluse double doivent être pourvus, dans la suite, d'une commande électrique.

**Nature et mode d'exécution des maçonneries.** — Les bétons du radier sont en mortier de chaux hydraulique du Teil, au dosage de 150 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable et gravier pour le béton coulé à sec, et 180 kilogrammes de chaux pour le béton coulé sous l'eau. Les bajoyers sont construits en maçonnerie mixte (moellons et béton) avec harpes et plates-bandes comme à l'écluse de garde.

Le radier du sas amont a été exécuté en deux couches. La première de 1<sup>m</sup>,50 d'épaisseur, immergée à talus coulant, la deuxième coulée à sec sur la première, avec interposition de mortier de ciment pour faciliter la liaison des couches.

Les bajoyers du sas amont ont été construits entièrement à sec ; du côté de la rive droite, le service des matériaux était fait par une voie installée sur le terre-plein adossé au bajoyer et élevée, comme ce terre-plein, au fur et à mesure de l'avancement du bajoyer ; du côté de la rive gauche, on a eu recours à un monte-charge fixe pour élever les matériaux et à des échafaudages à plancher mobile, pour les transporter sur toute la longueur de la construction (pl. XXIX, fig. 1 et pl. XXXVII).

Six poutres de 16 mètres de hauteur (pl. XXXVII), solidement moisées et contreventées, formaient la double cage du monte-charge : deux plates-formes suspendues, l'une au brin montant, l'autre au brin descendant d'une chaîne sans fin enroulée sur un treuil à vapeur et renvoyée sur des poulies à la partie supérieure de l'échafaudage, recevaient les wagons chargés ou les wagons vides. Les plates-formes étaient guidées par des montants verticaux dans leur mouvement d'ascension ou de descente ; à l'extrémité de leur course, elles étaient maintenues à l'arrêt par un mouvement de dé clic commandé à main (fig. 3).

Le radier du sas aval a été coulé sous l'eau à la trémie, à l'aide d'une installation analogue à celle de l'ouvrage de garde. Toutefois, la partie du radier de l'écluse double, en prolongement du radier de l'usine, a été exécutée à l'air comprimé en même temps que les fondations de l'usine.

Pour les bajoyers du sas aval noyés dans 4 mètres d'eau, on a dû recourir aux épuisements.

Le sas aval a été divisé en 4 chambres, à l'aide de batardeaux longitudinaux et transversaux (pl. XXXVIII, fig. 1).

Le radier terminé, les batardeaux longitudinaux (pl. XXXVI, fig. 6 et pl. XXXVIII, fig. 2), pris dans la section des bajoyers, furent coulés à la trémie ou à talus coulant. Du côté des terres (rive droite), on laissa prendre au béton du batardeau son talus naturel (pl. XXXVIII, fig. 2) et l'on eut à démolir, après épuisement, une partie du massif qui remplissait le vide de l'aqueduc. Du côté du canal, les talus naturels de béton se seraient étendus trop loin : ils auraient obstrué la chambre de la dernière turbine. On maintint le béton du batardeau entre des panneaux en ciment armé, du côté du canal, et un vannage en sapin, du côté de l'écluse (fig. 4).

A cet effet, avant l'exécution du radier aval, on battit une file de pieux au pied du bajoyer de rive gauche sur toute sa longueur. Le béton coulé

jusqu'au niveau supérieur du radier, on échoua, entre les pieux, des cadres formés de moises horizontales et de tringles de suspension verticales. Contre cette charpente, boulonnée à la partie supérieure des pieux, on appliqua des dalles en ciment armé préparées d'avance. Ces dalles présentaient 3 mètres de hauteur et 1 mètre de largeur (fig. 6 et 7). Leur ossature métallique se composait d'un grillage en acier rond de 5 millimètres d'épaisseur avec mailles carrées de 55 millimètres de côté. Deux barres rondes de 15 millimètres de diamètre, recourbées à leurs extrémités de façon à former poignées de suspension, renforçaient ces dalles dans le sens de leur hauteur. Transversalement, la rigidité était assurée par quatre barres rondes de 15 millimètres de diamètre, recourbées à leurs extrémités pour former ancrages dans le béton. Les dalles en ciment, coulées dans des moules démontables, présentaient 7 centimètres d'épaisseur sur les bords et 5 centimètres au milieu : la forme cintrée du milieu s'obtenait dans le moulage avec une cerce en bois. Ces dalles étaient amenées en place sur des radeaux, immergées à l'aide de cordages et fixées aux moises supérieures par des étriers embrassant la moise et la dalle.

Cette application est la plus heureuse qui ait été faite du ciment armé au canal de Jonage. Elle a évité des coffrages, de la pierre de taille et procuré à l'écoulement de l'eau des parois lisses. Elle peut être reproduite avantageusement dans la construction ou la réfection sous l'eau des piles et culées de pont, des murs de quai, estacades, etc.

Du côté du sas (fig. 4), le vannage en sapin était maintenu en place par des pieux en fer rond de 50 millimètres de diamètre, correspondant aux pieux en bois et reliés avec les moises supérieures du premier coffrage à l'aide de tirants en fer plat. Les pieux furent enfoncés au marteau après le coulage du béton du radier. Le vannage était descendu par panneaux formés de planches horizontales clouées sur des madriers verticaux.

Les batardeaux transversaux qui divisèrent le sas aval de l'écluse en quatre chambres, étaient contenus dans des coffrages en bois. Le premier de ces coffrages fut rempli d'argile. L'argile bien corroyée, mélangée de foin haché, était immergée au scaphandre, en briquettes posées à la main et bien damées. Malgré les précautions prises, il se produisit dans le coffrage des déformations dues à la poussée de l'argile détrempeée et il s'ensuivit des filtrations dans le batardeau. Cet insuccès et le prix élevé du travail firent recourir, pour les autres batardeaux, au sable et gravier tels qu'ils provenaient des déblais; en outre, on modifia légèrement la forme du coffrage. Chacun des côtés du coffrage définitif était constitué par des palplanches de 0<sup>m</sup>,08, inclinées sur la verticale et comprises entre trois cours

de doubles moises (pl. XXXVIII, fig. 5). L'entretoisement des deux côtés était obtenu par des tringles en fer boulonnées sur des fers plats contre les moises extérieures. On put, de la sorte, monter à terre toute la carcasse de la charpente et l'immerger entre deux files de pieux en fer, battus d'avance dans le béton, à l'inclinaison des côtés du coffrage. La charpente en place, il ne restait plus qu'à enfoncer les palplanches à coups de masse entre les cours de moises et à les fixer sur le béton : un scaphandre dirigeait la palplanche dans sa descente. Le caisson était ensuite rempli de sable et gravier tout venant qu'on déversait de la partie supérieure.

Afin d'assurer l'étanchéité complète des batardeaux en sable et gravier, on avait pris soin d'étendre, contre la paroi soumise à la pression de l'eau, une toile fixée à des tringles verticales et chargée à son pied par des rails ou des sacs de gravier ; entre la toile et la paroi, on coulait du tan. Le tan, comme on sait, présente une densité très peu supérieure à celle de l'eau ; entraîné avec facilité par les courants, il colmate rapidement les vides.

Ces batardeaux en sable et gravier réussirent parfaitement. Ils sont d'un emploi à recommander dans les constructions. Ils ont l'avantage d'exercer une poussée moindre sur les parois du coffrage, de supprimer tous les frais de préparation de l'argile, corroyage, mélange, immersion et, en cas d'avaries, de pertes, de filtrations, ils sont plus faciles à réparer. En un mot, ils sont moins coûteux, plus solides et peuvent être rendus aussi étanches que les batardeaux d'argile.

C'est une opinion souvent admise que les sables et graviers forment des filtres et sont incapables de retenir l'eau. En réalité, pourvu que les sables ne soient pas d'une finesse excessive, on peut, avec des épaisseurs suffisantes, obtenir des digues étanches en sable et gravier. L'expérience en a été faite plusieurs fois, pendant la construction du canal de Jonage, sur des barrages provisoires construits avec des déblais ordinaires, sans précaution, sans préparation spéciale : ces barrages ont résisté à des charges d'eau de plusieurs mètres sans filtration notable. Nous pouvons citer, par exemple, le barrage établi au point 1<sup>km</sup>,800, qui a, pendant trois ans et demi, isolé le canal du Rhône et qui a été soumis à des charges de 7 mètres pendant les crues ; cette digue ne présentait cependant que 5 mètres en couronne avec des talus de 2 pour 1. Il arrive sans doute que des sables se déplacent à l'intérieur de la masse, mais, s'ils ne sont pas tout à fait fins, ils sont arrêtés dans les petits interstices et les bouchent. C'est ainsi qu'on peut expliquer que des sources qui, après la mise en eau du canal, s'étaient déclarées dans les fossés latéraux ont disparu quelque temps après.

Les épuisements du sas aval de l'écluse double se firent donc facile-



ment dans des chambres isolées comme nous l'avons dit. Toutefois, une malfaçon que nous devons signaler, entraîna une réfection coûteuse.

**Réfection du talus de raccordement du béton coulé à l'air comprimé et du béton coulé à la trémie.** — La partie du radier de l'écluse en prolongement de l'usine avait été exécutée, comme nous l'avons dit, à l'air comprimé et par couches successives de 0<sup>m</sup>,50. Les talus de béton, coulant les uns sur les autres en dehors du caisson, d'une hauteur qui alla jusqu'à 3 mètres, se délavèrent dans la descente et firent une mauvaise prise. La laitance s'accumula au pied du talus. En outre, lorsqu'on revint, plusieurs semaines après, appliquer le béton à la trémie contre le talus à air comprimé, la liaison des maçonneries sous l'eau s'opéra mal. Des visites au scaphandre, des sondages à la barre avant le coulage par trémie, ne révélèrent cependant pas la malfaçon qui ne devint apparente qu'au moment des épaissements. Sous l'effet des pressions, les bétons se laissèrent traverser par l'eau et entraîner suivant le talus de jonction. Les épaissements devinrent impossibles. Il ne resta qu'à démolir et reconstruire la largeur du radier de l'écluse qui correspondait au talus à l'air comprimé. Pour conduire rapidement cette réfection, on eut recours à trois installations successives.

*Première installation* (pl. XXXIX, fig. 1, 2 et 3). — On s'attacha d'abord à reprendre la partie du radier qui correspondait aux bajoyers, de façon à sortir de l'eau ces bajoyers à l'abri de batardeaux et à les achever, tout en continuant la réfection du radier à l'intérieur de l'écluse.

On utilisa, dans cette première installation, une petite cloche mobile, de 2<sup>m</sup>,00 sur 2<sup>m</sup>,50, munie d'un sas à air ordinaire. L'installation permettait trois déplacements de la cloche : un déplacement longitudinal, un déplacement transversal et un mouvement de soulèvement ou d'abaissement. La cloche était suspendue par 4 vérins à un chariot mobile sur des rails longitudinaux et ces rails étaient eux-mêmes portés par un second chariot, mobile sur des rails transversaux. On utilisa la file de pieux de l'ancienne passerelle de l'usine, pour porter le rail amont transversal et l'on établit, en face de chacun de ces pieux, un chevalet pour porter le second rail et recevoir le tablier d'une passerelle de service. La remonte des déblais se fit d'abord par des bennes soulevées par un câble métallique. Le câble s'enroulait sur un treuil à main, passait sur deux poulies de renvoi, à la partie supérieure d'un échafaudage porté par le chariot, et pénétrait dans le sas à air, à frottement doux, par un presse-étoupe. Plus tard, on modifia le sas à air par l'adjonction de deux cornes ou tuyaux à double clapet et à

double robinet, semblables à ceux de la figure 5. L'un de ces tuyaux servait à l'évacuation des déblais, l'autre, à l'introduction du béton. L'éclusage et la manœuvre se comprennent d'eux-mêmes. L'approche et le chargement des matériaux se firent par une petite voie, installée sur la passerelle de service, en communication avec la rive droite du canal. On avait pu se procurer ce caisson monté; cette circonstance qui permettait de gagner plusieurs semaines, décida de son emploi; mais le peu d'espace de la chambre à air comprimé, rendit le travail lent et coûteux.

*Deuxième installation* (pl. XXXIX, fig. 4). — Le radier à l'emplacement des bajoyers et les batardeaux en béton démolis et reconstruits, on procéda à la deuxième installation destinée à isoler les bajoyers. Du côté intérieur, un peu en retraite sur le parement des bajoyers, on disposa, les uns à la suite des autres, les caissons batardeaux qui avaient fermé les chambres d'eau de l'usine. En contrebutant ces caissons par des pièces de bois, en calfatant les joints de raccordement, on constitua, avec les batardeaux en béton, une enceinte facile à épuiser et l'on acheva à sec la construction du bajoyer.

*Troisième installation. Caisson flottant* (pl. XXXIX, fig. 5, 6, 7 et 8). — La troisième installation, destinée à achever la réfection du radier à l'intérieur de l'écluse, consista en un second caisson à air comprimé, plus vaste que le premier, disposé de façon à servir, en cours d'entretien, aux visites et aux réparations des ouvrages sous l'eau. Pour la facilité des transports ultérieurs et la rapidité d'installation, on adopta la forme flottante.

Le caisson flottant affecte la forme d'un prisme rectangulaire, de 5 mètres de longueur, 4 mètres de largeur, 3<sup>m</sup>,80 de hauteur. Il se divise en deux compartiments : le compartiment inférieur ou chambre de travail à air comprimé, et le compartiment supérieur étanche qui contient du lest et une surcharge d'eau. Le lest et la quantité d'eau introduits dans la chambre étanche, règlent la profondeur d'immersion et le poids à faire porter sur les cou-teaux : à cet effet, un robinet établit la communication de la chambre étanche, soit avec une soufflerie, soit avec l'air extérieur, tandis que deux petites vannes fixées à la partie inférieure de la chambre étanche, manœuvrées chacune par une longue tige, règlent la sortie ou l'entrée de l'eau.

La charpente métallique se compose de nervures horizontales et de montants verticaux en fers cornières sur le pourtour. Ces fers sont entre-toisés, dans les deux sens, au niveau du plafond de la chambre à air et du plafond de la chambre étanche. Le plafond inférieur est consolidé par des contrefiches qui reportent sur le couteau du caisson la plus grande partie

de la charge. Dans la chambre étanche, les montants sont contreventés par deux croix de Saint-André. Des tôles de 6 millimètres, rivées à recouvrement, avec interposition de papier dans les joints, forment les parois et les plafonds du caisson.

La chambre de travail est mise en communication, par des tuyaux de 0<sup>m</sup>,80, avec un sas ordinaire muni de deux tubulures à double clapet et robinet.

Une légère charpente en fer supporte, à 0<sup>m</sup>,20 au-dessus des plus hautes eaux, un plancher de service.

---

## § 7. — PONTS MÉTALLIQUES

**Dispositions générales.** — Sept grands ponts rétablissent les communications. La plus grande distance qui sépare deux ponts consécutifs est de 3<sup>km</sup>,600. Les trois ponts d'amont sont à simple voie charretière, les quatre ponts d'aval à double voie charretière.

Les ponts à simple voie présentent une largeur de chaussée de 2<sup>m</sup>,50 et des trottoirs de 0<sup>m</sup>,75 chacun, soit une largeur libre de 4 mètres pour la circulation.

Les ponts à double voie présentent une largeur de chaussée de 5 mètres et des trottoirs de 0<sup>m</sup>,75 chacun, soit une largeur libre de 6<sup>m</sup>,50 pour la circulation.

Tous ces ponts sont à piles et culées en maçonnerie et à tablier métallique.

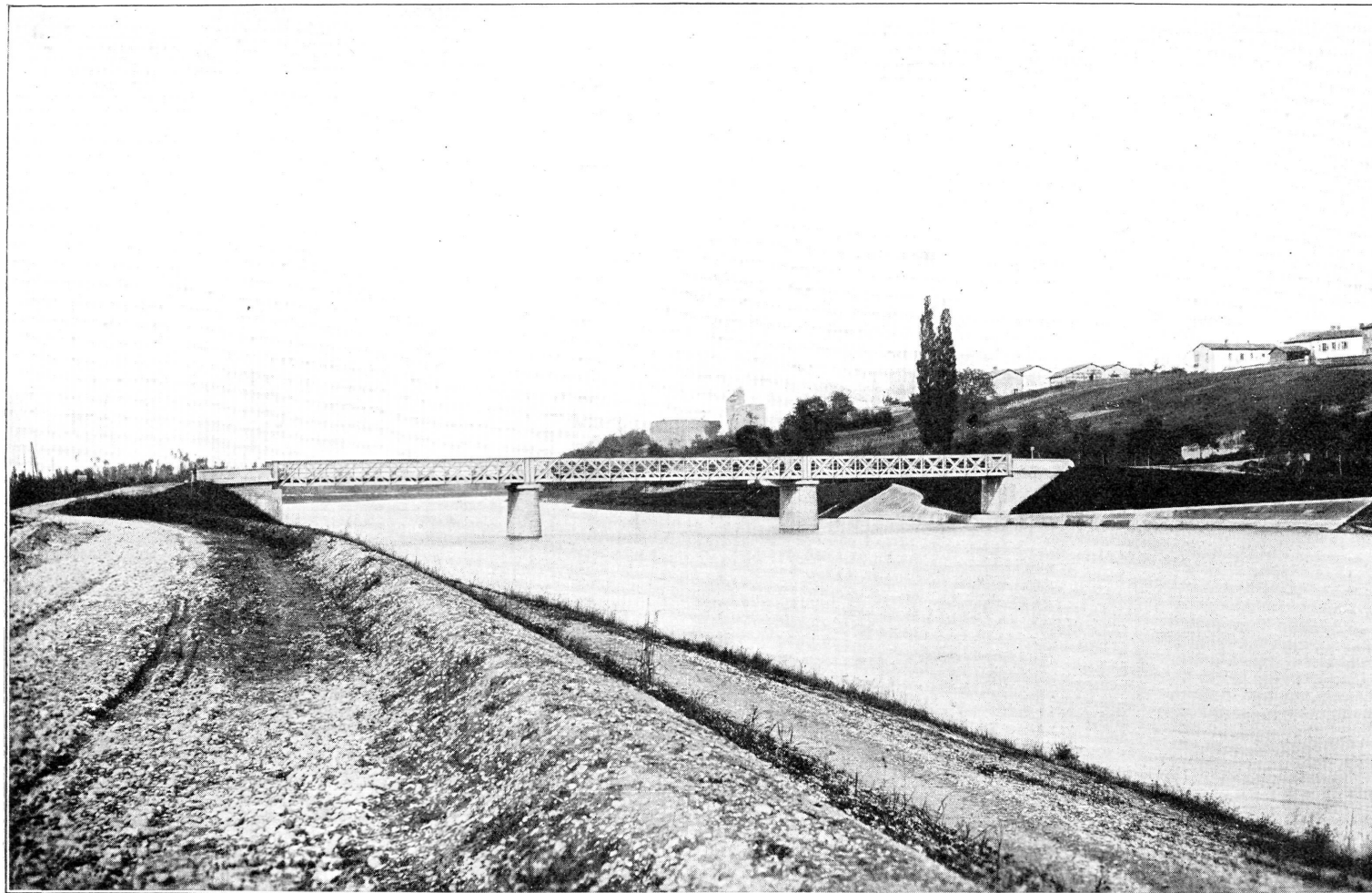
Le dessous des tabliers est établi à 5 mètres au-dessus des plus hautes eaux navigables.

Les chemins de halage et de contre-halage passent sous les ponts. Une banquette de 4 mètres pour le halage et une banquette de 1<sup>m</sup>,50 pour le contre-halage, sont établies devant les culées correspondantes, à 1 mètre au-dessus des plus hautes eaux navigables ; de plus, les chemins de halage et de contre-halage se raccordent avec les chaussées des ponts par des rampes ou des déviations latérales, de façon qu'à chaque pont les chevaux puissent passer d'une rive à l'autre du canal.

Les tabliers sont des poutres droites à travées solidaires. Leur type ne diffère que par l'absence ou la présence de contreventement supérieur. Les tabliers sans contreventement paraissent plus lourds parce que le manque de hauteur a obligé de renforcer les pièces les plus apparentes, montants et treillis, mais ils conviennent mieux à la circulation et ils ont la préférence des habitants. Les tabliers à contreventement supérieur n'ont pas, non plus, un aspect satisfaisant et il faut reconnaître qu'avec la hauteur minima réglementaire (4<sup>m</sup>,30), le contreventement supérieur apporte quelque gêne à la circulation des véhicules encombrants, tels que, voitures de foin, de paille, de bois, dont le chargement n'est pas réglé à la campagne par un gabarit comme dans une gare de chemin de fer.

Les emplacements et conditions principales d'établissement de ces ponts sont les suivants :

		DÉSIGNATION des ponts.	EMPLACEMENT	NOMBRE de travées.	LONGUEUR des travées du tablier.	LONGUEUR TOTALE du tablier.	LARGEUR LIBRE du tablier.	HAUTEUR moyenne des piles.	TYPE de tablier.
			k.		m.	m.	m.	m.	
Dans le Canal d'aménée	En amont du Réservoir.	Pont de Jonage.	4 + 062	3	2 de rive 26,07 1 interm. 31,58	83,72	4,00	12,20	Sans contreven- tementsupérieur.
		Pont de Meyzieu.	6 + 850	3	2 de rive 26,07 1 interm. 31,58	83,72	4,00	9,98	Sanscontreven- tementsupérieur.
		Pont de l'Herbens.	8 + 850	3	2 de rive 26,07 1 interm. 31,58	83,72	4,00	9,18	Sanscontreven- tementsupérieur.
	Entre le Réser- voir et l'Usine.	Pont de Décines.	12 + 516	4	2 de rive 28,77 2 interm. 33,04	123,62	6,50	9,53	A contrevente- ment supérieur.
		Pont de la Sucrierie.	14 + 068	4	2 de rive 28,01 2 interm. 33,50	123,14	6,50	13,45	Sanscontreven- tementsupérieur.
	Dans le Canal de fuite.	Pont de Cusset.	16 + 415	3	2 de rive 27,33 1 interm. 31,36	86,02	6,50	8,28	A contrevente- ment supérieur.
		Pont de Vaulx.	18 + 345	3	2 de rive 29,61 1 interm. 34,02	93,24	6,50	8,25	A contrevente- ment supérieur.



VUE DU PONT DE JONAGE

**Piles et culées** (pl. XL et XLI). — Les piles présentent, au-dessous du couronnement supérieur en pierre de taille, une largeur uniforme de 1<sup>m</sup>,50 dans les ponts à une seule voie et de 2 mètres dans les ponts à double voie. Les parements, inclinés au  $\frac{1}{20}$ , se raccordent avec des avant-becs et des arrière-becs demi-circulaires. Un socle forme la base de la pile au niveau de l'étiage ou du plafond théorique.

Les culées sont à parement vertical et mur en retour pour le raccordement de la chaussée du pont et de la chaussée du chemin.

Les piles et culées reposent sur une fondation en béton, descendue à 1<sup>m</sup>,50 ou 2 mètres au-dessous du plafond du canal.

Les maçonneries sont mixtes (moellons et béton) dans les culées jusqu'au niveau des banquettes. Au-dessus, elles sont en moellons bruts. Les piles sont en moellons bruts au-dessus du socle. Les pierres de taille sont factices, sauf les sommiers qui sont en pierre naturelle.

Les culées des ponts se raccordent avec les digues par des murs et perrés d'inclinaison variable, en forme de soc de charrue, semblables aux raccordements déjà décrits.

Les murs de raccordement proprement dits sont en maçonnerie, les revêtements en béton avec quadrillage en maçonnerie. Sous le pont, du côté du chemin de halage, ces murs ont leur parement à 4 mètres du parement de la culée et l'intervalle entre le mur et la culée est rempli de gravier pour former la banquette de halage (pl. XL, fig. 1, 2 et 3). Du côté du chemin de contre-halage, ils font corps avec la culée même et réservent une banquette de 1<sup>m</sup>,50 au contre-halage. Ils reposent dans les deux cas sur le même massif de fondation que les culées.

**Construction des ponts du canal d'aménée.** — Les fondations des piles et culées ont été faites à sec, ainsi que celles des murs de raccordement; quelques-unes ont nécessité des fouilles boisées et des épaissements.

En élévation, les piles et culées qui atteignaient jusqu'à 13 mètres de hauteur, furent montées très simplement à l'aide d'écoperches. Cette installation n'est pas nouvelle, mais nous la rappellerons en raison des services qu'elle peut rendre.

**Ecoperche** (pl. XLII). — L'écoperche consistait en un mât, mobile autour de son axe, reposant à sa base par un pivot dans une crapaudine et tournant à frottement doux dans un collier qui le maintenait à son sommet. Ce collier était amarré, par quatre haubans, à des pieux solidement enfoncés dans le sol. Sur le mât, on fixait en croix deux moises qui lui transmettaient leurs



charges par deux contrefiches. Les moises portaient deux poulies à gorge sur lesquelles passait une chaîne de levage.

Chaque pile de pont était desservie par une installation semblable. Le mouvement des chaînes de levage *f* était produit par un treuil à vapeur *b*, le mouvement de rotation du mât, par un homme agissant sur un levier. Les chaînes de levage *f* étaient attachées à une chaîne sans fin *de*, enroulée sur le treuil *b*, à l'une des extrémités du pont, et renvoyée par une poulie de retour *h* à l'autre extrémité. De la sorte, le treuil pouvait manœuvrer toutes les chaînes à la fois; il suffisait, à un moment quelconque, de relier les chaînes de levage au brin s'enroulant *d* ou au brin se déroulant *e*, pour produire le mouvement de remonte ou de descente des bennes correspondantes.

Cette installation très simple dispense des échafaudages coûteux; elle peut rendre de précieux services pour la construction des grands viaducs, particulièrement dans les pays neufs.

**Construction des ponts du canal de fuite.** — Les fondations des piles et culées, descendues à 1<sup>m</sup>,50 au-dessous du plafond du canal, ont été faites en béton coulé sous l'eau.

Pour les culées et les murs de raccordement qui leur font suite, le béton de fondation a été élevé jusqu'au niveau des basses eaux et l'élévation a été montée en temps d'étiage. Le béton sous l'eau a été coulé par trémie à l'intérieur d'une enceinte formée, comme dans la fondation de l'écluse double, par une cloison de dalles en ciment armé, du côté du canal, et un vannage en sapin, du côté des terres (pl. XLIII, fig. 1 et 4).

Pour les piles, on employa un mode tout différent. La fouille draguée, on échoua un caisson métallique monté sur un échafaudage à l'emplacement même de la pile. On coula, dans ce caisson, du béton à la trémie jusqu'à 3 mètres au-dessus du fond de la fouille; on épuisa à l'intérieur de l'enceinte formée par les parois du caisson et le fond de béton, puis on monta à sec l'élévation des piles (pl. XLIII, fig. 1, 2, 3 et 5).

*Caisson métallique pour la fondation des piles* (pl. XLIII, fig. 6 et 7). — Le caisson métallique se composait d'une partie inférieure fixe, destinée à rester dans la fondation, et d'une partie supérieure démontable, destinée à servir pour plusieurs piles. L'ensemble du caisson présentait la forme prismatique rectangulaire de 12<sup>m</sup>,30 de longueur, 4<sup>m</sup>,10 de largeur et 5<sup>m</sup>,50 de hauteur.

La charpente de la partie fixe était formée de quatre poutres transver-



sales distantes de 2<sup>m</sup>,26 d'axe en axe. Chacune de ces entretoises affectait la forme d'un cadre rectangulaire en fers cornières dont le côté inférieur aurait été supprimé. Les sommets opposés étaient réunis par des croisillons. A la partie supérieure de ces poutres et sur un mètre de hauteur, était rivé un bordage en tôle dépassant les entretoises de 0<sup>m</sup>,50.

La partie mobile était formée par 3 nervures horizontales, en fers cornières, réunies par des montants verticaux. Sur ce cadre, qui suivait le pourtour du caisson, était boulonnée une tôle de bordage de 6 millimètres. Les cornières des nervures et des montants étaient assemblées avec interposition de joints en caoutchouc pour l'étanchéité. Sur la cornière inférieure de la partie mobile, était boulonnée la cornière supérieure de la partie fixe. Dans les angles, le caisson était consolidé par des montants verticaux.

Le montage de ce caisson se fit à l'aide d'une installation qui devait servir ensuite au coulage du béton (pl. XLIII, fig. 1, 2, 3 et 5). Deux files de pieux furent battues de chaque côté de l'emplacement des piles : les files intérieures, pour porter le chemin de roulement d'un échafaudage monté sur chariot mobile, les files extérieures, pour consolider les précédentes et recevoir avec elles un plancher de service. L'échafaudage mobile était formé de deux palées réunies, à leurs parties supérieure et inférieure, par des poutres horizontales portant un plancher. Le caisson fut monté sur un plancher démontable porté par les passerelles à 0<sup>m</sup>,50 au-dessus de l'eau : il fut soulevé et descendu à l'aide de treuils et palans portés, d'une part, par le chariot mobile et, d'autre part, par un chevalet provisoire installé sur les passerelles.

Le caisson mis en place, on coula, comme nous l'avons dit, du béton par trémie jusqu'à 3 mètres au-dessus du fond de la fouille, c'est-à-dire sur 1<sup>m</sup>,50 de hauteur le long des hausses de la partie fixe du caisson. L'échafaudage avait un mouvement dans le sens de la longueur de la pile. On installa sur le plancher inférieur de cet échafaudage une petite voie transversale pour porter le truc de la trémie. De cette façon, la trémie avait un mouvement dans les deux sens et pouvait venir en tout point de la fouille. Une autre voie, installée sur les passerelles et en communication avec la rive, amenait le béton dans des caisses, tandis qu'un treuil, mobile sur une petite voie du plancher supérieur de l'échafaudage, levait ces caisses et les amenait au-dessus de l'entonnoir de la trémie.

La fondation de béton ainsi montée à l'intérieur du caisson, on attendait quelques jours et l'on épuisait sur le béton pour élever la pile à sec. La pile sortie complètement de l'eau, la partie mobile du caisson était déboulonnée.

**Tabliers métalliques** (pl. XL et XLI). — Les tabliers, en acier doux, sont d'un type ordinaire. Les poutres de rive sont à âme évidée, à montants et croix de Saint-André. Elles sont entretoisées par des pièces de pont et contreventées horizontalement à la partie inférieure par des croisillons. Les appuis sont des rouleaux, des rotules ou de simples plaques de friction.

L'acier travaille à 8 kilogrammes par millimètre carré; les conditions du cahier des charges fixaient une résistance à la rupture de 46 kilogrammes par millimètre carré et un allongement de 22 p. 100.

*Montage.* — Tous les tabliers des ponts ont été montés sur des échafaudages qui occupaient deux travées consécutives (pl. XLIV).

Pour les ponts à simple voie (fig. 1, 2 et 3), construits par la maison Moisant, Laurent, Savey et C<sup>ie</sup>, ces échafaudages se réduisaient à cinq ou six palées par travée, constituées chacune simplement par deux poteaux, trois cours de doubles moises et deux croisillons, et réunies entre elles par des moises à la partie supérieure seulement. Ces moises portaient un plancher. Les pièces d'acier étaient élevées sur ce plancher par une chèvre installée sur le plafond du canal. On montait d'abord la nervure inférieure de chacune des poutres de rive en la soutenant par des vérins au milieu de la travée. Les pièces de cette nervure assemblées et les appuis montés, on abaissait les vérins, de façon à décharger l'échafaudage qui n'avait plus qu'à supporter le poids des pièces élevées par la chèvre. Amenées en place par un chariot roulant sur une petite voie, ces pièces étaient déchargées et mises en place par des crics et un treuil mobile.

Le pont de la Sucrierie (fig. 7, 8 et 9), fut monté d'après le même système, mais avec un échafaudage plus robuste, en raison de la hauteur des piles et du poids du pont. Le levage était fait par une grue tournante installée sur une culée.

Les ponts de Décines (fig. 4, 5 et 6), de Cusset et de Vaulx, construits par le Creusot, furent montés sur de solides passerelles en bois, de 10 mètres de largeur. Ces passerelles se composaient de trois ou quatre palées par travée. Chaque palée était formée de deux solides poteaux, posés sur des semelles en bois et réunis par trois cours de doubles moises et deux croisillons. Les poutres longitudinales reposaient sur ces poteaux par un chapeau; elles portaient des lambourdes très rapprochées et un solide plancher. Elles étaient renforcées dans leur milieu par des pièces de bois et des contrefiches qui reportaient les efforts au milieu des poteaux. Longitudinalement, les poteaux étaient réunis par un double cours de moises. L'ensemble était d'une cons-

truction très robuste. Sur le plancher, était établie une voie sur longrines, de 7<sup>m</sup>,80 d'écartement entre rails. Cette voie servait à la circulation d'un chariot de montage qui entourait complètement la cage du pont. Le chariot se composait de deux charpentes en bois portées, chacune, par deux galets de roulement, et réunies à la partie supérieure par des longrines : sur celles-ci, était installée une voie transversale au pont pour le déplacement d'un treuil roulant. Les pièces d'acier, approvisionnées aux abords du pont, étaient montées, à l'aide de crics et de rouleaux, sur des trucs et amenées, par une voie Decauville, sur le tablier de la passerelle. Le chariot roulant, mobile à la main par une manivelle et une transmission d'engrenages, était conduit au-dessus du truc bardeur ; les pièces, saisies par les chaînes du treuil, étaient amenées en place par le déplacement transversal du treuil.

*Chaussée* (pl. XL, fig. 5 et 6). — Les chaussées reposent sur des voûtes surbaissées en béton de ciment, portées sur les nervures inférieures des entretoises ou sur des cornières rivées à ces entretoises. Le remplissage des reins, jusqu'au niveau supérieur des entretoises, est fait en béton maigre recouvert d'une chape en mortier de ciment. Des gargouilles en fonte écoulent les eaux d'infiltration et les versent dans le canal. L'empierrement est maintenu entre deux bordures de pierre de taille. Les trottoirs sont formés par de petites voûtes en béton de ciment, surbaissées, reposant sur la partie supérieure des entretoises. Le remplissage, entre les voûtes, est en béton maigre et le tout est recouvert d'un enduit de ciment de 0<sup>m</sup>,02 d'épaisseur qui forme la surface du trottoir.

---

## § 8. — OUVRAGES SECONDAIRES

Les ouvrages secondaires ont consisté dans l'exécution du fossé latéral au canal, dans le déplacement et l'élargissement de ce fossé, dans la construction de ponts, ponceaux, aqueducs et buses sur ce fossé et sur le chemin de contre-halage, de murs de soutènement dans les tranchées, d'un aqueduc-siphon pour la traversée du canal de fuite par un petit ruisseau, de siphons provisoires pour la mise en eau du canal, enfin de deux maisons éclusières.

Le fossé latéral a été déplacé et élargi à l'aide d'une petite drague suceuse et piocheuse, qui refoulait les déblais au-dessus des digues du canal pour le colmatage du plafond.

La plupart des ouvrages secondaires ne sortent pas des types ordinaires en usage. Les seuls, dignes de mention, sont quatre ponts en ciment armé, l'aqueduc-siphon, les siphons provisoires pour la mise en eau du canal et les maisons éclusières.

**Drague suceuse et piocheuse** (pl. XLV). — La petite drague suceuse et piocheuse (système Bony) peut draguer, par simple aspiration, les vases et les sables fins, en général, les terrains peu consistants : dans les tourbes, les argiles, les marnes, elle désagrège le terrain sous l'eau et l'aspire ensuite : dans les terrains de gravier, elle cesse d'être pratique, en raison de l'obstruction fréquente produite par les galets.

La suceuse, dont il a été fait usage, pouvait produire 60 à 80 mètres cubes par jour dans les argiles ; dans les vases, la production aurait plus que doublé.

Cette drague consiste en une pompe rotative, installée sur bateau et actionnée par une machine de 20 chevaux. Le tuyau d'aspiration est porté par une élinde que commandent un treuil et une chèvre de manœuvre fixés sur le bateau. Le tuyau d'aspiration est animé de trois mouvements : 1° du mouvement de translation du bateau, produit par des treuils et des chaînes d'amarrage installés sur la drague ; 2° du mouvement de rotation de l'élinde autour de son axe horizontal ; 3° d'un mouvement de rotation autour de son axe propre.

*Pompe* (fig. 3, 4, 5 et 6). — La pompe est à axe horizontal. La coquille de fonte est à trois ouvertures, une pour le passage de l'arbre moteur et le logement de la boîte à étoupe, une autre pour l'arrivée du tuyau d'aspiration, la troisième pour la sortie du tuyau de refoulement. La roue, venue de fonte, est formée d'un noyau et de trois ailettes courbes faisant avec la circonférence intérieure un angle de  $45^{\circ}$  et, avec la circonférence extérieure, un angle de  $21^{\circ}$ ; sur chaque ailette, sont fixées, par des boulons, des plaques d'acier percées de trous, que l'on déplace au fur et à mesure de leur usure.

L'amorçage de la pompe se fait à la vapeur, à l'aide d'un éjecteur placé à la partie supérieure de la coquille. Le jet de vapeur, qui traverse cet éjecteur, entraîne l'air du tuyau d'aspiration, de même qu'il entraîne l'eau dans les injecteurs d'alimentation des chaudières. Ce système d'amorçage est nécessité par l'impossibilité de munir d'un clapet le tuyau d'aspiration : le clapet serait vite encrassé par les déblais et hors d'état de fonctionner.

*Tuyau d'aspiration* (fig. 1, 2, 7, 8 et 9). — Le tuyau d'aspiration en tôle est coudé, mobile en deux points *o* et *o'* au contact de coussinets et de colliers de bronze. La rotation du tuyau autour de son axe propre, est produite par la machine à vapeur : à cet effet, l'arbre de la pompe porte une poulie *p* qui transmet son mouvement, par un arbre intermédiaire et des engrenages, à une roue *r* montée sur le tuyau d'aspiration. Le tuyau se termine par une section oblique, suivant laquelle est appliquée une collerette munie de dents d'acier qui désagrége le terrain.

*Tuyau de refoulement* (fig. 1 et 2). — Le tuyau de refoulement en tôle est formé de tronçons assemblés avec interposition de joints de caoutchouc. La conduite de refoulement pouvant atteindre une grande longueur, suivant le point où l'on dépose les déblais, on place, de distance en distance, des raccords articulés (fig. 11) qui permettent à la conduite de s'infléchir ou de se retourner.

*Relais de refoulement*. — Afin de refouler les déblais du nouveau fossé dans le canal, on avait installé un relais de refoulement pour élever les eaux troubles au-dessus des digues, soit à 10 mètres de hauteur. Le relais consistait en une pompe, semblable à la précédente, actionnée par une dynamo. L'énergie provenait de l'usine, alors en exploitation.

*Ponts à tablier en ciment armé sur le fossé latéral*. — Les ponts en ciment armé, sur le fossé latéral, sont au nombre de quatre.

Le plus important est un pont déversoir de 12 mètres de portée, à l'embouchure du fossé latéral (pl. XLVI).

Le tablier, de 6<sup>m</sup>,14 de largeur, se compose de 4 poutres, distantes de 1<sup>m</sup>,80 d'axe en axe, réunies par un hourdis. Les poutres de rive forment consoles de support du garde-corps.

L'armature métallique des poutres maîtresses se compose de 6 barres rondes ou tendeurs de 42 millimètres de diamètre, dont 3 droites et 3 relevées sur les appuis, et de 28 étriers de  $\frac{40\text{mm}}{2\text{mm}}$  par double barre droite. Ces étriers en fer plat, disposés verticalement, se retournent à angle droit à leurs extrémités, pour bien relier le fer et le ciment. Les étriers doivent résister à l'effort tranchant : leur écartement diminue à mesure qu'ils se rapprochent des appuis, c'est-à-dire à mesure que l'effort tranchant augmente. Les barres pliées forment, avec les barres droites et les étriers, des figures indéformables.

L'armature métallique du hourdis se compose, par mètre courant de longueur de pont, de 6 barres rondes de 15 millimètres de diamètre, dont trois relevées sur les poutres et trois droites munies chacune de 4 étriers de  $\frac{20\text{mm}}{1\text{mm},5}$  entre chaque poutre.

Les poutres armées présentent 0<sup>m</sup>,30 de largeur, 0<sup>m</sup>,60 de hauteur ; le hourdis 0<sup>m</sup>,15 d'épaisseur.

Le mortier est au dosage de 350 kilogrammes de ciment.

Une note annexée à ce paragraphe donne les calculs de ce pont d'après la méthode Hennebique.

**Aqueduc-Siphon.** — Le canal supprimant le ruisseau de la Rize, qui prenait sa source dans le réservoir et qui était utilisé à Villeurbanne par un syndicat de riverains, la Société du canal de Jonage fut tenue de rendre cette eau aux intéressés. Elle a utilisé, pour cela, une partie des eaux du ruisseau latéral établi sensiblement au même niveau que l'ancien lit de la Rize. Pour le maintien de la navigation, la traversée du canal de fuite a dû se faire en siphon.

Ce siphon (pl. XLVII, fig. 1 à 8) se compose de deux tuyaux en tôle juxtaposés, de 0<sup>m</sup>,35 de diamètre, de 113<sup>m</sup>,50 de longueur totale, recourbés à leurs deux extrémités suivant les talus du canal et noyés dans un massif de béton de 0<sup>m</sup>,80 de hauteur. Chacun des tuyaux est formé de tronçons de 5 à 6 mètres de longueur, assemblés à brides ; chacun des tronçons est formé de viroles coniques de 1<sup>m</sup>,05 de longueur, emboîtées et rivées à recouvrement. Les tronçons des deux siphons sont réunis à leurs deux extrémités, par des entretoises fixées aux tuyaux par des cornières.

La fouille préparée, on construisit, pour l'immersion de ce siphon, une passerelle de 2<sup>m</sup>,50 de largeur établie sur pieux. Cette passerelle portait un

plancher, des treuils et des vérins. Les tronçons, assemblés sur chaque rive, furent tirés par des treuils et amenés sur un radeau sous la passerelle. Là, les deux moitiés de siphon furent réunies, suspendues aux treuils et aux vérins, et descendues sur le béton coulé d'avance à la trémie au fond de la fouille. Le coulage du béton fut achevé au scaphandre pour que l'appui et le calage du siphon fussent bien assurés.

**Siphons provisoires** (pl. XLVII, fig. 9, 10, 11 et 12). — A la suite de l'essai de mise en eau de 1897, on reconstruisit le barrage provisoire, dit de la Sucrierie, à 1<sup>k</sup>,900 en amont de l'usine. Pour pouvoir régler l'introduction de l'eau dans le bief d'aval, la modérer ou l'arrêter en cas de danger, on établit cinq siphons de 0<sup>m</sup>,50 de diamètre.

Ces siphons étaient formés de tuyaux de fonte assemblés entre eux par des joints Gibault (fig. 12).

Ils reposaient, à l'amont, sur un talus bétonné, et débouchaient, à l'aval, dans un bassin qui maintenait l'amorçage au début du remplissage.

On pouvait craindre la difficulté d'amorçage en raison du fort diamètre des tuyaux. On résolut la difficulté par l'emploi d'éjecteurs à vapeur, basés sur le même principe que celui de la suceuse.

**Maisons éclusières** (pl. XLVIII). — Deux maisons d'habitation semblables ont été construites pour le logement des éclusiers ; l'une à l'écluse de garde, l'autre à l'écluse double.

Chacune de ces maisons peut loger deux ménages. Elle se divise en un corps de bâtiment principal et deux pavillons symétriques. Elle comporte un sous-sol réservé aux caves, celliers et magasins, un rez-de-chaussée et un premier étage. Le rez-de-chaussée comprend : dans le bâtiment central, un vestibule et deux pièces dont une cuisine ; dans chacune des ailes, deux pièces.

La distribution du 1<sup>er</sup> étage est la même que celle du rez-de-chaussée.

Pour éviter des tassements dangereux dans ces maisons élevées sur des remblais récents, il importait d'en rendre très solidaires les différentes parties. On a eu recours au ciment armé. Toute la construction est en ciment et ciment armé.

L'ossature de la maison est constituée par des piliers en ciment armé dont le socle, en forme de dé, repose sur une base en béton de ciment, noyée elle-même dans un massif général de fondation en béton de chaux hydraulique. A leur base et au niveau de chaque étage, les piliers sont réunis ensemble diagonalement et, par côté, à l'aide d'un chaînage noyé dans du béton de ciment.

Les piliers en béton de ciment présentent une section carrée de 0<sup>m</sup>,25 de côté ; à l'intérieur de chacun d'eux, sont noyés quatre montants en fer rond de 15 millimètres réunis par des fils d'acier de 6 millimètres qui les enlacent. Les bases des piliers en béton de ciment présentent une section carrée de 1<sup>m</sup>,30 de côté.

Les murs sont formés par une double cloison de briques de ciment de 0<sup>m</sup>,05 d'épaisseur, posées de champ et distantes de 0<sup>m</sup>,25. Ces cloisons emmagasinent entre elles un matelas d'air préservateur de la chaleur et du froid.

Les planchers, plafonds, escaliers, sont en ciment armé. Il ne rentre de bois que dans la charpente de la toiture.

Les planchers et plafonds sont formés d'un treillage à mailles rectangulaires ou carrées, noyé dans un mortier de ciment de 0<sup>m</sup>,06 d'épaisseur pour les planchers et de 0<sup>m</sup>,03 pour les plafonds. Les poutres qui les portent sont disposées en croix de Saint-André et armées de deux aciers ronds reliés par un treillis qui les enlace comme nous l'avons dit. Ces poutres établissent une liaison entre les piliers à la hauteur de chaque étage.

Les dosages des mortiers ou béton employés dans les poutres en ciment armé étaient de 450 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable grenu ou de gravier fin.

Ces maisons ont été construites par la maison Pavin de Lafarge et l'étude en a été faite par M. Bied, ancien élève de l'École Polytechnique, directeur du laboratoire des Usines du Teil.

---



## ANNEXE AU § 8

### CALCULS DU TABLIER DU PONT DE 12 MÈTRES DE PORTÉE EN CIMENT ARMÉ

La méthode de M. Hennebique consiste à compter sur la résistance du ciment seul dans les parties comprimées et sur la résistance du fer seul dans les parties tendues.

On admet :

Comme résistance du ciment à la compression, 25 kilogrammes par centimètre carré ;

Comme résistance du fer à la tension, 10 kilogrammes par millimètre carré ;

Comme résistance du fer au cisaillement, 6 kilogrammes par millimètre carré.

Surcharge du pont :

Surcharge morte uniformément répartie, 300 kilogrammes par mètre carré ;

Surcharge roulante, chariot de 6 tonnes à 4 essieu.

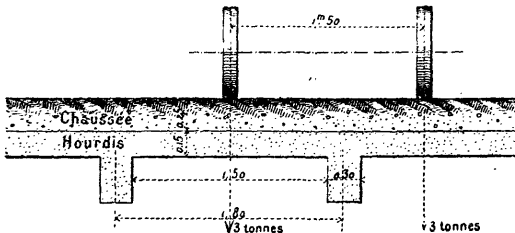
**Hourdis.** — Le hourdis est assimilé à une poutre demi-encastree. L'expression du moment fléchissant est donnée par les formules :

$M_f = \frac{Pl^2}{10}$ , dans le cas d'une charge uniformément répartie.

$M_f = \frac{4}{5} \frac{Pl}{4}$ , dans le cas d'une surcharge concentrée.

Considérons une tranche de hourdis de 1 mètre de largeur.

La charge roulante est supposée transmise par la chaussée sur 1 mètre de largeur.



La charge permanente se décompose ainsi par mètre courant :

Poids du hourdis	$0,15 \times 1,00 \times 2.500$	=	375 kg.
Poids de la chaussée	$0,25 \times 1,00 \times 1.800$	=	450 —
			825 kg.

Moment fléchissant dû à la charge permanente :

$$M_f = \frac{825 \times 1,50^2}{10} = 185 \text{ kgm}, 62.$$

Moment fléchissant dû à la surcharge d'épreuve uniformément répartie à raison de 300 kilogrammes par mètre carré :

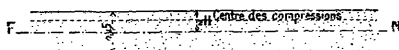
$$M_f = \frac{300 \times 1,50^2}{10} = 67 \text{ kgm}, 50.$$

Moment fléchissant dû à la surcharge roulante :

$$M_f = \frac{4}{5} \times \frac{3.000 \times 1,50}{4} = 900 \text{ kgm}.$$

*Section du ciment travaillant à la compression :*

Soit FN la fibre neutre. Pour déterminer la hauteur 2H du ciment travaillant à la compression, M. Hennebique admet que la section comprimée travaille, sur toute son étendue, à la limite d'élasticité R. La ligne du centre des compressions passe alors par le milieu de la hauteur 2H. Cette manière de calculer augmente en réalité la résultante des compressions et diminue son bras de levier.



Le moment résistant des parties comprimées, L étant la largeur de la section, est donné par l'expression  $(L \times 2H) \times H \times R$  et l'on a :

$$M_r = \frac{M_f}{2}$$

$$(L \times 2H) \times H \times R = \frac{M_f}{2} = \frac{900 + 186}{2} = \frac{1.086}{2} \text{ soit } \frac{1.100}{2}$$

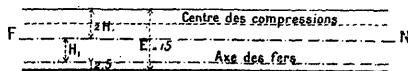
$$2H = \sqrt{\frac{M_f}{H \times L}} = \sqrt{\frac{1.100}{25 \times 10^2 \times 1,00}} = 0^m, 066.$$

Si l'on admet, comme dans les poutres ordinaires, que les pressions varient proportionnellement à leur distance  $x$  à la fibre neutre, on obtient pour le moment résistant :

$$\int_0^{2H} \frac{Ldx \times R \times x}{2H} \times x = \frac{1}{3} RL (2H)^2 = \frac{M_f}{2}$$

$$2H = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{M_f}{RL}}$$

La formule pratique donne donc des résultats un peu plus faibles que la théorie ordinaire des poutres, mais elle est consacrée par un nombre suffisant d'expériences pour qu'on puisse l'adopter.



*Section des fers travaillant à la tension :*

Soit  $H_1$  la distance de la fibre neutre à l'axe des fers et soit 2,5 cm. la distance de l'axe des fers à la face inférieure du hourdis.

Soit E, l'épaisseur totale du hourdis qu'on se donne égale à 15 centimètres.

$$H_1 = E - (2H + 2^{cm,5}) = 15 - (6,6 + 2,5) = 5^{cm,9}.$$

Soit S, la section des fers, R' le coefficient de résistance du métal à la traction, égal à 10 kilogrammes par millimètre carré, le moment résistant du fer sera  $S \times R' \times H_1$ . On aura donc :

$$S \times R' \times H_1 = \frac{M_f}{2}$$

$$S = \frac{M_f}{2 \times R' \times H_1} = \frac{4.100}{2 \times 10^7 \times 0,059} = 0,000\,932, \text{ soit } 932 \text{ mm}^2.$$

Les 6 barres adoptées, de 13 millimètres de diamètre, donnent une section totale de 4.060 millimètres carrés.

*Etriers résistant à l'effort tranchant :*

L'effort tranchant maximum correspond au passage d'une roue de 3 tonnes. Il est égal à :

$$3.000 + \frac{825 \times 1,50}{2} = 3.619 \text{ kg.}$$

Pour un travail du fer au cisaillement, de 6 kilogrammes par millimètre carré, la section totale des étriers sur 1 mètre de largeur du hourdis devra être de :

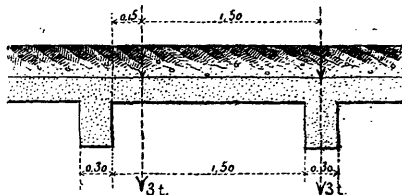
$$\frac{3.619}{6} = 603 \text{ mm}^2.$$

Dans une section de 1 mètre, il y a 12 étriers, soit 24 sections de fer feuillard. Chaque section doit donc avoir  $\frac{603}{24} = 25$  millimètres carrés.

Les feuillards adoptés présentent  $20 \times 1,5$ , soit une section de 30 millimètres carrés.

**Poutres.** — Les poutres se calculent de la même manière, on admet qu'elles forment avec les culées et le hourdis un demi-encastrement.

Charge permanente par mètre courant,  $825 \times 1,80$  . . . . . = 1.485 kg.  
Poids de la poutre par mètre. . = 450 —  
Total. . . . . 1.935 kg.  
Soit 1.950 kg.



Charge d'épreuve uniformément répartie,  $300 \times 1,80 = 540$  kilogrammes.

Surcharge roulante :

$$3.000 + \frac{3.000 \times 0,15}{1,50} = 3.300 \text{ kg.}$$

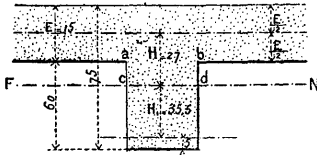
Moment fléchissant dû à la charge permanente :

$$M_f = \frac{1.950 \times 12^2}{10} = 28.080 \text{ kgm.}$$

Moment fléchissant dû à la surcharge d'épreuve uniformément répartie à raison de 300 kilogrammes par mètre carré :

$$M_f = \frac{540 \times 12^2}{10} = 7.776 \text{ kgm.}$$

Moment fléchissant dû à la surcharge roulante :



$$M_f = \frac{4}{5} \times \frac{3.300 \times 12}{4} = 7.920 \text{ kgm.}$$

Moment fléchissant maximum :

$$M_f = 28.080 + 7.920 = 36.000 \text{ kgm.}$$

On néglige la partie *a b c d* de la poutre travaillant à la compression et l'on ne considère que le hourdis pour résister à cet effort.

Compression :

$$S \times H \times R = \frac{M_f}{2}$$

$$1,80 \times 0,15 \times H \times 25 \times 10^3 = \frac{36.000}{2}$$

$$H = \frac{36.000}{2 \times 1,80 \times 0,15 \times 25 \times 10^3} = 0^m,27.$$

Tension :

$$H_t = 75 - (5 + 27 + 7,5) = 35^m,5$$

$$S = \frac{36.000}{2 \times 0,355 \times 10^7} = 0,005070, \text{ soit } 5.070 \text{ mm}^2.$$

On a adopté 6 barres de 42 millimètres donnant une section totale de 8.300 millimètres carrés ; l'effort de tension est alors :

$$p = \frac{36.000}{2 \times 0,355 \times 8.300} = 6^k8,10 \text{ par mm}^2.$$

Efforts tranchants :

L'effort tranchant dû à la charge permanente,  $\frac{1.950 \times 12}{2} = 11.700$  kilogrammes.

Effort tranchant dû à la charge uniformément répartie,  $\frac{540 \times 12}{2} = 3.240$  kilogrammes.

Effort tranchant dû à la surcharge roulante, 3.300 kilogrammes.

Effort tranchant maximum,  $11.700 + 3.300 = 15.000$  kilogrammes.

Section du fer  $\frac{15.000}{6} = 2.500$  millimètres carrés.

On a adopté 3 étriers parallèles de  $40 \times 2$  donnant 6 sections de fer feuillard, soit  $6 \times 40 \times 2 = 480$  millimètres carrés soit, par millimètre carré, un effort de :

$$\frac{2.500}{480} = 5^k8,20.$$

Consoles. — Poids de la console par mètre courant :

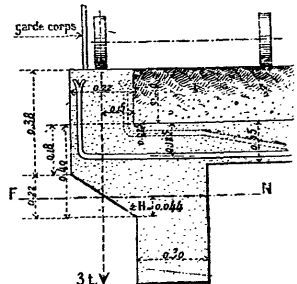
$$\left( 0,38 \times 0,22 + \frac{0,22 \times 0,22}{2} \right) 2.500 = 270 \text{ kg.}$$

Poids de la surcharge uniformément répartie par mètre courant,  $300 \times 0,22 = 66$  kilogrammes.

Surcharge roulante, 3.000 kilogrammes.

Moment fléchissant dû à la charge permanente,  $\frac{270 \times 0,22}{2} = 30 \text{ kgm.}$

Moment fléchissant dû à la surcharge uniformément répartie,  $\frac{66 \times 0,22}{2} = 7^k8^m,25.$



Moment fléchissant dû à la surcharge roulante de 3 tonnes,  $3.000 \times 0,15 = 450$  kgm.

Moment fléchissant maximum,  $450 + 30 = 480$ , soit 500 kgm.

*Compression :*

$$2H = \sqrt{\frac{M_f}{R \times L}} = \sqrt{\frac{500}{25 \times 10^3 \times 1,00}} = 0^m,044.$$

*Tension :*

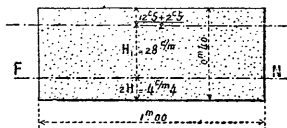
$$\Pi_1 = E - \left( 2H + \frac{12,5 + 2,5}{2} \right) = 40 - 11,9 = 28 \text{ cm.}$$

Section des fers :

$$S = \frac{M_f}{2 \times R \times H_1} = \frac{500}{2 \times 10^3 \times 0,28} = 0,000\,089, \text{ soit } 89 \text{ mm}^2.$$

Par mètre courant, nous avons 6 barres droites de hourdis de 15 millimètres, soit une section de 1.060 millimètres carrés de beaucoup supérieure au résultat du calcul.

**Epreuves.** — Les épreuves de ce pont ont donné des résultats très satisfaisants. Sous la charge morte, uniformément répartie de 300 kilogrammes par mètre carré, la flèche des poutres, observée avec un amplificateur, n'a pas dépassé un demi-millimètre. Sous le passage d'un essieu de 6 tonnes, elle n'a été que de  $\frac{2}{5}$  de millimètre.



## § 9. — REMARQUES SUR LA COMPOSITION ET LA FABRICATION DES MORTIERS ET BÉTONS

Le béton rentre dans les constructions du canal de Jonage pour 275.230 mètres cubes, sur un total de 382.370 mètres cubes de maçonnerie. L'emploi du béton était indiqué parce qu'on trouvait les matériaux, sable et gravier, dans les fouilles, tandis que le moellon devait effectuer par chemin de fer un parcours d'au moins 30 kilomètres \*.

Alors qu'en Suisse et dans beaucoup d'autres pays, on a construit des ouvrages tout en béton, comme récemment le barrage et l'usine de Chèvres sur le Rhône à Genève, en France on ne recourt au béton qu'avec timidité. Les résultats, obtenus au canal de Jonage, permettent cependant d'affirmer que ce genre de maçonnerie offre toutes les garanties de solidité des ouvrages en moellons — à la condition qu'on apporte, dans la fabrication et la construction, le soin et la surveillance nécessaires — et qu'il permet d'édifier des constructions dont le prix serait inabordable avec la pierre ordinaire.

Au canal de Jonage, une objection avait été faite au sujet de l'emploi des matériaux des fouilles. Dans la région lyonnaise, les sables du Rhône sont en défaveur; on leur reproche d'être trop fins, peu siliceux, trop argileux. Dans les grandes constructions, on emploie, presque exclusivement, le sable de la Saône, qui est, il est vrai, un sable siliceux, grenu, excellent. Comme il s'agissait de plusieurs centaines de mille mètres cubes de béton, il y allait d'un grand intérêt de connaître la composition des sables des deux rivières et de comparer la résistance des mortiers qu'ils fournissent.

Les analyses et expériences suivantes ont été faites au laboratoire des usines Pavin de Lafarge au Teil \*\*, sur des échantillons de sable du Rhône retirés des bancs de composition ordinaire, et sur des échantillons de sable de la Saône et de sable normal de Leucate.

---

\* Les moellons bruts provenaient des carrières de Villebois, Trept, Montalieu, Sault-Brénaz, Saint-Bilaire et Crémieu.

Les pierres de taille provenaient des carrières de Villebois et de Montalieu.

\*\* La maison Pavin de Lafarge au Teil a été le fournisseur général des chaux hydrauliques employées dans les maçonneries du canal de Jonage.

COMPOSITION CHIMIQUE		SABLE NORMAL de Leucate.	SABLE TOUT-VENANT du Rhône.	SABLE TOUT-VENANT de la Saône.
		77,70 p. 100 18,40 — 4,20 — 0,10 — 1,20 — 1,40 —	61,50 p. 100 28,00 — 0,80 — » — 9,65 — 0,05 —	75,10 p. 100 21,10 — 0,60 — » — 3,15 — 0,05 —
		100,00	100,00	100,00
	Poids du litre non tassé. . . . .	1 <sup>k</sup> ,536	1 <sup>k</sup> ,510	1 <sup>k</sup> ,540
	Résidu restant sur le tamis de . . . . .	2 <sup>mm</sup> . 1 <sup>mm</sup> ,5. 1 <sup>mm</sup> . 0 <sup>mm</sup> ,5.	Sable normal passant à 1 <sup>mm</sup> ,5 et retenu sur le tamis de 1 <sup>mm</sup> .	7 p. 100 3,5 — 11,2 — 45,4 — 22,9 —
	Poudre fine ayant passé à 0 <sup>mm</sup> ,5. . . . .			20,2 p. 100 10,6 — 23,1 — 36,0 — 10,1 —

	CHAUX PURE	MORTIER A 350 K. de chaux hydr. du Teil par m <sup>3</sup> de sable de Leucate.	MORTIER A 350 K. de chaux hydr. du Teil par m <sup>3</sup> de sable du Rhône.	MORTIER A 350 K. de chaux hydr. du Teil par m <sup>3</sup> de sable de la Saône.
Résistance par cm <sup>2</sup> {	Au bout de 7 jours.	3 kg. 25	2 kg. 50	2 kg. 33
après immersion à l'eau ordinaire. {	Au bout de 28 jours.	7 kg. 50	7 kg. 08	4 kg. 83
			2 kg. 33	4 kg. 58

Ces chiffres montrent que les sables du Rhône n'offrent pas une composition très différente de celle des sables réputés les meilleurs, et que les mortiers qu'ils fournissent sont aussi résistants que les mortiers de ces derniers sables. Dans l'exécution des travaux, les sables et les graviers du Rhône n'ont donné de mécompte, ni dans les mortiers, ni dans les bétons, et l'expérience s'étend à 275.230 mètres cubes de béton et à 107.140 mètres cubes de maçonnerie. Elle nous paraît assez concluante pour réhabiliter les sables du Rhône.

Le béton a été fabriqué, dans tous les travaux du canal, par le mélange direct de la chaux avec le sable et gravier tout-venant, tels qu'ils proviennent de l'extraction. C'est une coutume à Lyon de ne pas séparer les matières. On reconnaît à ce procédé l'avantage de réduire la main-d'œuvre et l'on admet généralement qu'il fournit du béton de meilleure qualité. On prétend que la chaux adhère mieux aux galets, mais la principale cause de la supériorité du béton, dit de *tout-venant*, nous paraît tenir à ce qu'il donne un béton plus gras à égalité de matières premières.

Si l'on prend en effet :

0<sup>m</sup><sup>3</sup>,50 de sable,

150 kilogrammes de chaux,

on obtient environ  $0^{\text{m}^3},53$  de mortier;

et si l'on mélange :

$0^{\text{m}^3},50$  de mortier,

1 mètre cube de gravier passé à l'anneau de 0,06,

on obtient :

$1^{\text{m}^3},25$  de béton non damé et  $1^{\text{m}^3},20$  de béton damé par couche de 0,20.

Si l'on prend d'autre part :

1 mètre cube de tout venant,

150 kilogrammes de chaux,

on obtient :

$1^{\text{m}^3},02$  de béton non damé,

$0^{\text{m}^3},90$  de béton damé par couche de 0,20.

Ces résultats s'appliquent à des sables et graviers donnant, par mètre cube de tout-venant, 260 litres de vide, et après passage à la claie :

740 litres de gravier,

320 litres de sable.

Ainsi, d'une part, diminution de main-d'œuvre, de l'autre, augmentation du dosage de la chaux. L'avantage est évident, le désavantage ne l'est pas et le béton tout-venant a la préférence de tous les entrepreneurs. Il faut reconnaître d'ailleurs que l'avantage fait plus que compenser l'inconvénient.

L'emploi du tout venant exige un mélange énergique. On ne doit guère recourir qu'aux procédés mécaniques. Au canal de Jonage, on a employé tantôt la bétonnière (*Lyon*) à axe horizontal, tantôt la bétonnière (*Delacquis*) à axe vertical.

La bétonnière Lyon consiste, comme on sait, en un cylindre légèrement incliné sur l'horizontale, muni de palettes intérieures et animé d'un mouvement de rotation par une locomobile et une transmission d'engrenages. L'introduction des matières, tout-venant, chaux et eau, se fait par un entonnoir et la sortie du béton, par un clapet manœuvré à la main. Ces bétonnières ont un inconvénient : aux moments d'arrêt, les matières les plus légères tombent au fond du cylindre. Si l'on ouvre alors le clapet de sortie sans prendre soin de faire faire plusieurs tours à la bétonnière, on ne reçoit d'abord, dans les wagons, que du mortier liquide et ensuite que du béton très maigre et sec. Le malaxage se fait aussi moins bien que dans la bétonnière Delacquis.

La bétonnière Delacquis se compose d'une cuve horizontale fixe, au milieu de laquelle se déplace un arbre vertical muni de palettes recourbées; le mouvement de ces palettes, dans un couloir au centre de la cuve, produit le malaxage. Les matières sont reçues dans une caisse qu'on ouvre par une



trappe pour les charger dans des wagonnets. Dans cette bétonnière, les matières n'ont pas de tendance à se séparer par ordre de densité et le mélange s'effectue plus intimement. Cette bétonnière exige une puissance motrice supérieure d'environ 30 p. 100 à celle de la bétonnière horizontale.

Les mortiers de l'ouvrage de garde, comme d'ailleurs de tous les grands ouvrages du canal, ont été fabriqués au broyeur mécanique. Le broyage était produit par le roulement de deux lourdes roues dans une cuve circulaire ; le mélange était complété à la pelle à main dans la cuve en mouvement. L'écrasement des petits graviers rend le sable grenu et augmente son adhérence à la chaux. Les mortiers fabriqués avec ces broyeurs malaxeurs sont bien supérieurs aux mortiers fabriqués à la griffe et au racloir.

---

# **CHAPITRE II**

## **INSTALLATION HYDRAULIQUE DE L'USINE**

## CHAPITRE II

### INSTALLATION HYDRAULIQUE DE L'USINE

#### § 1. — TURBINES — VANNES D'ADMISSION

**Puissance de l'usine.** — L'installation hydraulique de l'usine comporte, ainsi que nous l'avons dit au chapitre précédent, 8 turbines génératrices de 1.250 chevaux (pl. XLIX), 8 turbines génératrices de 1.350 chevaux et 3 turbines excitatrices de 250 chevaux.

D'après l'observation des hauteurs d'eau du Rhône pendant la construction, la hauteur de chute à l'usine, déduction faite des pertes de charge, variera entre 11 mètres et 13 mètres pendant plus de trois cents jours par an, pour un débit d'au moins 100 mètres cubes à la prise d'eau. Pendant les soixante jours de hautes eaux du Rhône, la chute pourra être inférieure à 11 mètres, mais l'excès de débit disponible fera plus que compenser la différence de chute.

En tout temps, on disposera donc à l'usine d'une puissance de plus de  $\frac{100.000 \times 11}{75} = 14.666$  chevaux.

L'énergie ne sera pas consommée, comme elle est emmagasinée, d'une façon continue suivant un débit constant. A certaines heures de la nuit, la consommation sera presque nulle et elle atteindra son maximum en hiver à cinq heures du soir. Si l'on fixait à douze heures la journée de travail, il faudrait doubler les chiffres précédents pour avoir la force disponible par seconde. Pour tenir compte des pertes de toutes sortes — pertes du canal, pertes par les turbines et par les dynamos — on a prévu une force de 12.000 chevaux par seconde, comptée sur l'arbre des turbines, et l'on a fait l'installation en vue de pouvoir distribuer à certaines heures du jour un maximum de 20.000 chevaux.

Les installations n'ont été faites au début que pour les turbines généra-

trices de 1.250 chevaux et les excitatrices de 250 chevaux, les seules dont nous nous occuperons.

**Turbines génératrices de 1.250 chevaux.** — Ces turbines sont à réaction et à axe vertical, radiales, coniques et centripètes.

Elles sont établies :

Pour une chute de 12 mètres à 10<sup>m</sup>,40;

— un débit à la seconde de 10.500 à 12.500 litres;

— un rendement effectif de 1.250 chevaux;

— une vitesse angulaire de 120 tours par minute.

Chaque turbine se compose essentiellement : (pl. LI, fig. 1) d'une roue motrice intérieure R, d'un distributeur extérieur ou roue fixe directrice D, d'un arbre vertical A qui porte la roue motrice et l'inducteur des alternateurs et qui est soulagé hydrauliquement par le piston P, d'un système de vannage *v v''* et d'appareils régulateurs du vannage.

La turbine est enfermée dans une huche H où l'eau est amenée par un conduit horizontal Ta.

Elle repose sur la maçonnerie par un anneau porteur Ap.

L'anneau porteur est établi au niveau moyen entre les plus hautes et les plus basses eaux. En hautes eaux, la huche est noyée dans 2<sup>m</sup>,50 d'eau.

Nous allons examiner successivement les différentes parties de la turbine.

**Anneau porteur** (pl. LI, fig. 1). — L'anneau porteur Ap est scellé dans la maçonnerie. C'est une pièce de fonte affectant la forme d'une surface de révolution. Cette pièce présente, à la partie supérieure, un retour ou congé sur lequel est boulonnée la huche de la turbine, un palier qui forme la surface d'appui du distributeur et une échancrure au-dessus de laquelle tourne la roue motrice. A la partie inférieure, elle se retourne à angle droit, suivant un arc de cercle légèrement excentré par rapport à l'axe de rotation pour former une conduite d'échappement évasée vers le bas : cette conduite se prolonge elle-même par un tuyau d'aspiration ou de succion en tôle descendu au-dessous des basses eaux.

L'anneau porteur est renforcé extérieurement par des nervures qui forment autant d'ancrages noyés dans la maçonnerie de ciment.

**Roue motrice** (pl. LI, fig. 1, 3, 4 et 5). — La roue mobile est en fonte, coulée d'une seule pièce. Elle est conique et formée de 3 étages d'aubes; la hauteur de la roue est de 1<sup>m</sup>,40, le diamètre supérieur est de 1<sup>m</sup>,21 à l'exté-

rieur, le diamètre inférieur est de 2 mètres à l'intérieur. Les génératrices du cône sont inclinées à  $60^\circ$  sur l'horizontale. Le profil de l'aube sur sa couronne affecte la forme indiquée par les figures 3, 4 et 5. Les cloisons présentent à l'entrée de l'eau un bec recourbé pour diminuer la contraction de la veine liquide, une courbure plus ou moins accentuée suivant la hauteur de l'étage et une partie sensiblement droite sur le reste de la longueur.

La section offerte à la sortie de l'eau, sur la surface du cône intérieur, déduction faite des cloisons, est sensiblement :

Pour l'étage supérieur, de  $0^{\text{m}^2},90$  ;  
 — — — intermédiaire, de  $1^{\text{m}^2},25$  ;  
 — — — inférieur, de  $1^{\text{m}^2},40$ .

Les couronnes de séparation des étages sont coniques et inclinées à  $30^\circ$  sur l'horizontale.

L'étage supérieur      porte 20 aubes ;  
 — — — intermédiaire — 26 aubes ;  
 — — — inférieur      — 32 aubes.

*Roue directrice ou distributeur* (pl. LI, fig. 1, 3, 4 et 5). — L'eau est amenée dans les aubes de la roue mobile par les aubes d'une roue directrice ou distributeur. Cette roue est en fonte, d'une seule pièce ; elle est clavetée sur l'anneau porteur. Elle porte 3 étages d'aubes ou de guides, correspondant aux 3 étages de la roue motrice. L'entrée de ces guides est disposée sur 3 cylindres concentriques dont les rayons diminuent avec la hauteur. Leur sortie est disposée sur un cône qui n'est écarté que de 1 millimètre du cône extérieur de la roue mobile.

La couronne supérieure porte 20 aubes ;  
 — — — intermédiaire — 26 aubes ;  
 — — — inférieure — 32 aubes.

autant, par conséquent, que les couronnes de la roue mobile.

Les couronnes de séparation des étages présentent à l'entrée de l'eau des formes arrondies, variables d'une couronne à l'autre. La diversité de formes est nécessitée par le logement des vannes de réglage. A la sortie, ces couronnes de séparation présentent des surfaces coniques dans le prolongement des couronnes de la roue mobile.

Les profils des aubes affectent la forme indiquée par les figures 3, 4 et 5 ; presque normaux à la circonférence extérieure, ils se retournent graduellement et se terminent par une longue partie sensiblement droite ; de deux en deux, les cloisons commencent à la circonférence moyenne du distributeur, de façon à moins réduire la section d'entrée.

La section offerte à la sortie de l'eau sur la surface du cône intérieur, déduction faite des cloisons, est sensiblement :

- Pour l'étage supérieur de  $1^{\text{m}^2},03$ ;
- — — intermédiaire de  $1^{\text{m}^2},37$  ;
- — — inférieur de  $1^{\text{m}^2},70$ .

*Huche* (pl. LI, fig. 1 et 2). — La huche, bêche ou chambre d'eau, est une pièce de fonte cylindrique, de  $3^{\text{m}},25$  de diamètre intérieur, de 3 mètres de hauteur, enveloppant la turbine et la fermant à la partie supérieure par un couvercle que traversent l'arbre moteur et les tiges de manœuvre du vannage.

L'enveloppe présente 30 millimètres d'épaisseur; elle est formée de deux parties assemblées par des boulons avec joints au chanvre, à la céruse et au minium.

La huche repose, comme nous l'avons dit, à la partie inférieure, par un retour ou congé sur l'anneau porteur. Elle est boulonnée avec interposition d'un joint semblable au précédent.

Le couvercle est formé de deux parties : 1° une partie centrale qui affecte la forme d'un dôme *d d* renforcé par des nervures extérieures et surmonté d'une colonne à support pour le passage et le guidage de l'arbre; 2° une partie annulaire bombée *b b*. Cette partie annulaire se boulonne à la partie supérieure de la huche et au dôme du couvercle. Elle laisse à l'intérieur de la huche un espace cylindrique où se loge le disque ou piston P, dit *compensateur*, parce qu'il est destiné à équilibrer une partie du poids que porte l'arbre vertical.

Une soupape atmosphérique (fig. 2), fixée sur la partie annulaire *b b*, permet la sortie ou l'entrée de l'air au moment du remplissage ou de la vidange; elle se ferme sous la poussée de l'eau lorsque la huche est remplie.

La huche se raccorde, par une bride venue de fonte, avec le tuyau adducteur Ta, de  $2^{\text{m}},50$  de diamètre, scellé dans la conduite en maçonnerie sur une longueur de 3 mètres.

Afin d'éviter les vibrations qui peuvent se produire sous l'influence de pressions inégales sur le pourtour de l'enveloppe, principalement au moment du remplissage et de la vidange, des contrefiches en fonte (fig. 2), boulonnées aux portées *cc* et scellées dans la maçonnerie, contrebutent la huche et reportent la poussée sur les piles. Un trou d'homme T, ménagé sur le côté de la bêche, permet la visite intérieure de la turbine et de la conduite d'amenée.

*Arbre vertical* (pl. LI, fig. 1). — L'arbre vertical mesure une longueur totale de  $9^{\text{m}},30$ . Il est en deux pièces, l'une de  $6^{\text{m}},10$  montée avec la tur-

bine, l'autre de 3<sup>m</sup>,20 montée avec la dynamo. Ces 2 pièces sont assemblées par un manchon M à plateaux, muni d'une clavette : le plateau inférieur forme poulie de commande du régulateur.

L'arbre est une pièce ronde d'acier, de 0<sup>m</sup>,24 de diamètre. Il porte un pivot à anneau  $\alpha$  qui tourne sur un pivot  $\alpha'$  fixé à la partie supérieure de la bêche. Il est pourvu d'une partie filetée dans laquelle s'engage un écrou en fer  $e$  pour le réglage.

Les anneaux  $\alpha$   $\alpha'$  en acier peuvent être facilement remplacés à la suite d'usure. Cette partie de l'arbre est logée dans une chambre cylindro-conique qui sert de réservoir d'huile ; un courant d'eau froide circule dans ce réservoir à travers un serpentín.

L'arbre est guidé dans son mouvement par trois coussinets : à la partie supérieure, par un coussinet de bronze appartenant à la partie fixe de la dynamo ; à la partie médiane, par un second coussinet de bronze immédiatement au-dessous des pivots ; à la partie inférieure, par un coussinet en bois de gaïac, logé à l'intérieur d'un manchon boulonné lui-même sur la roue directrice.

A la partie inférieure, l'arbre porte la roue mobile à laquelle il est relié par un moyeu M' claveté sur lui et boulonné à la roue.

A la partie supérieure, il porte l'inducteur tournant des dynamos.

La pression sur le pivot qui se compose du poids des parties mobiles de la turbine et de la dynamo, ainsi que du poids de la colonne d'eau agissant sur le récepteur, serait trop considérable et l'on a équilibré la plus grande partie de la charge, environ 20 tonnes, au moyen du piston compensateur. La partie inférieure de ce piston est soumise à la pression d'eau d'amont et la partie supérieure est mise en communication, par un tube aspirateur T', avec le bief d'aval : la différence de pression sur les deux faces est ainsi égale à la hauteur de chute. Une petite valve à papillon, insérée sur le tube aspirateur, permet de modérer à volonté le soulèvement, en intercédant la communication avec le niveau d'aval.

L'arbre se termine par une pointe en forme de parabole, qui dirige le mouvement de l'eau vers le tube d'échappement au sortir des aubes.

*Vannage.* — La chute et la résistance étant variables, il est nécessaire de faire varier le débit de la turbine pour obtenir la constance dans le nombre de tours ou le voltage de la dynamo.

La variation de débit, imposée comme condition au constructeur, était de 2.000 litres, différence entre 12.500 litres (hautes eaux) et 10.500 litres (basses eaux).

Pour la réaliser et maintenir l'égalité de tours malgré les variations de charge, on règle l'entrée de l'eau dans les aubes directrices au moyen de trois vannes annulaires  $v$ ,  $v'$ ,  $v''$  (pl. LI) ouvrant ou fermant chacune un étage du distributeur. En eaux basses et moyennes, l'étage intermédiaire et l'étage inférieur seuls sont ouverts à l'admission ; l'étage supérieur n'entre en jeu qu'en hautes eaux. Les anneaux de réglage des deux étages inférieurs sont soutenus chacun par trois tiges guidées séparément par une douille  $d$  et un presse-étoupe  $p$ . Ces tiges  $t$  de l'étage inférieur, manœuvrant en sens inverse des tiges  $t'$  de l'étage intermédiaire, la vanne inférieure s'élève, tandis que la vanne intermédiaire s'abaisse pour ouvrir les étages correspondants. Les tiges sont mises en mouvement par un même pignon  $r$  qui engrène avec chacune d'elles, en sorte qu'elles se déplacent toujours ensemble et que les efforts à exercer s'équilibrent. Pour mettre en mouvement le troisième anneau  $v''$ , on commence par le faire tourner à l'aide d'une tige  $t''$  qui engrène à sa partie inférieure, par un pignon, avec un secteur denté  $R$  ménagé à la surface de l'anneau, et qui est actionnée, à sa partie supérieure, par une vis sans fin et une demi-roue dentée  $R'$ , installées au-dessus de la turbine. L'anneau supérieur vient ainsi saisir, par des fourches  $F$ , les tiges de suspension de l'anneau inférieur, entre des butées ménagées sur ces tiges. Amené dans cette position, l'anneau supérieur est entraîné par l'anneau inférieur dans ses mouvements.

**Réglage à main et régulateur automatique** (pl. XLIX, L et LII). Le réglage du vannage se fait, soit à la main, soit automatiquement. La moitié des turbines est pourvue du réglage automatique et du réglage à main ; l'autre moitié n'est pourvue que du réglage à main ; toutefois, le réglage à main est disposé de telle façon qu'il puisse être éventuellement complété par l'adjonction du réglage automatique.

Le régulateur automatique a l'avantage de réaliser une grande promptitude de réglage, malgré les variations de travail entre la marche à vide et la marche à pleine charge. Les régulateurs sont installés dans la salle des machines, en face de chacun des alternateurs. Ils communiquent, par des ouvertures pratiquées dans les voûtes, avec des appareils accessoires installés à l'étage intermédiaire (pl. XLIX et L).

Le nombre de tours de la turbine est fourni par un tachymètre centrifuge  $T$  (pl. L), qui fait partie du régulateur. Le mouvement de l'arbre de la turbine est transmis, par une courroie  $c$  et une poulie  $P$ , à l'arbre du tachymètre.

La position des vannes de réglage est fournie par un indicateur  $I$  qui



fait aussi partie du régulateur. C'est une aiguille qui éprouve, par transmission, des déplacements angulaires proportionnels aux déplacements rectilignes des vannes. Les roues de commande  $r$  des tiges de manœuvre des vannes sont montées sur des arbres horizontaux munis de pignons d'angle  $r'$ . Ces pignons d'angle engrènent avec des secteurs dentés  $r''$  boulonnés sur une roue située au-dessus du dôme de la turbine. Ces secteurs sont mis en mouvement par l'intermédiaire de deux balanciers horizontaux  $b'b'$ , d'un arbre vertical  $A'$ , de deux bielles  $b'' b''$  et de l'arbre  $A''$  de l'indicateur. C'est en agissant sur cet arbre par la transmission d'un volant manivelle  $Vm$ , (pl. LII.) d'une vis sans fin  $V$ , de la bielle à coulisses  $Bc$  et de la manivelle  $B$ , que l'on commande à bras le vannage, suivant les indications du tachymètre. Le tachymètre est construit pour une forte charge du ressort et un nombre élevé de tours. Toutes ses parties reposent sur des lames tranchantes de sorte que l'appareil n'éprouve pas de résistance par frottement. Le poids de la partie tournante est, en outre, relativement faible, ce qui rend l'appareil très sensible.

Le régulateur automatique se loge entre le tachymètre et l'indicateur : c'est un cylindre  $C$  dans lequel se meut un piston différentiel  $Pd$  dont la tige  $T$  est reliée à la manivelle  $B$ .

La face antérieure ou annulaire du piston est mise en communication, par la conduite  $A$ , avec un réservoir d'huile sous pression. La face postérieure ou face pleine est mise en communication avec la face annulaire, c'est-à-dire avec l'huile sous pression, par les tubulures  $c'$  et  $c''$  et avec l'air extérieur, par la conduite d'évacuation  $E$ . Une soupape régulatrice  $S$  établit, totalement ou en partie, la communication de  $c'$  avec  $c''$ , tandis qu'elle intercepte, totalement ou en partie, la communication de  $c''$  avec l'extérieur. Le mouvement de cette soupape, dans un sens ou dans l'autre, détermine une augmentation ou une diminution de pression sur la grande face du piston, par suite, un mouvement d'avancement ou de recul de celui-ci et un déplacement du vannage. Le mouvement de la soupape est commandé par le tachymètre : la position d'équilibre correspond au nombre normal de tours de la turbine. A cet effet, un levier  $LL'$  mobile autour du point  $o$  sur la tige  $TT''$ , reçoit à son extrémité  $L$ , la pression du ressort  $R$  variable suivant l'écartement des boules  $B'B'$ , tandis qu'il agit sur la tige de la soupape, à son autre extrémité, par un taquet  $t$ . Lorsque le nombre de tours tend à diminuer, le bras  $L$  du levier s'abaisse, le bras  $L'$  s'élève, la soupape s'ouvre, l'huile sous pression pénètre derrière la face pleine du piston ; le piston s'avance et le vannage s'ouvre davantage. Le mouvement est modéré par un plan incliné  $i$  fixé sous la tige du piston. Le mouvement de ce plan incliné

détermine une oscillation du levier  $ll'$ , mobile autour du point  $O'$ , et un mouvement de la tige  $T''T'''$  qui tend à agir sur la soupape en sens inverse de l'effort précédent. Le réglage  $LL'$  sur sa tige  $T''T'''$  s'effectue à l'aide d'un petit volant  $m$ .

La sensibilité de la soupape est telle, qu'en réalité elle n'est en repos dans aucune position. La variation dans le nombre de tours ne doit pas dépasser 1 p. 100 à charge constante et dans le passage de la charge nulle à la pleine charge réalisée progressivement. Lors de brusques changements de force, la variation garantie ne doit pas dépasser :

2,5 p. 100	dans le nombre de tours pour une variation de $\frac{1}{4}$ de la force totale.			
4 p. 100	—	—	—	$\frac{2}{4}$ —
6 p. 100	—	—	—	$\frac{3}{4}$ —
8 p. 100	—	—	—	$\frac{4}{4}$ —

Les appareils à huile sont établis à l'étage intermédiaire (pl. LII, fig. 5, 6 et 7). Ce sont deux réservoirs  $H$  et  $H'$  : le réservoir  $H$  contient l'huile sous pression et l'envoie à la face annulaire du piston du régulateur ; le réservoir  $H'$  reçoit l'huile qui sort du cylindre à la pression atmosphérique. Une pompe, à piston horizontal différentiel, aspire l'huile du réservoir  $H'$  et la refoule à la pression de 20 kg. par  $cm^2$  dans le réservoir  $H$ . Elle est à simple aspiration et à double refoulement. Elle est actionnée par l'arbre du régulateur, au moyen d'une transmission par roue à dents de bois, de sorte que, dès que le régulateur fonctionne, la pompe est obligée de travailler.

**Turbines excitatrices.** — Les turbines excitatrices sont du même type et de même construction que les turbines génératrices. Elles sont pourvues du même régulateur automatique. Toutefois elles n'ont que deux couronnes d'aubes, en sorte que le vannage est toujours équilibré.

Elles sont établies :

Pour une chute de 12 mètres à  $10^{m}10$ ;

- un débit à la seconde de 2.200 à 2.500 litres;
- un rendement effectif de 250 chevaux;
- une vitesse angulaire de 250 tours par minute.

**Vannes des chambres d'entrée d'eau.** — L'admission de l'eau dans la conduite d'amenée est réglée au moyen de vannes placées au-dessus de la conduite, dans les chambres d'amont (pl. LIII, fig. 1, 2, 3, 4 et 5). Ces vannes offrent une large section à l'entrée de l'eau, pour réduire les chocs et les tourbillonnements. Elles permettent d'isoler la conduite, de visiter et de réparer la turbine.

Ce sont des vannes cylindriques dont le principe est le même que celui

des vannes d'écluse, mais dont la construction a été simplifiée par la suppression du tambour fixe.

Les vannes des turbines génératrices consistent en un tambour mobile en fonte T, de 3<sup>m</sup>,30 de diamètre, de 1<sup>m</sup>,30 de hauteur, de 25 millimètres d'épaisseur et en un couvercle fixe en fonte C, ayant la forme d'une calotte sphérique. Ce couvercle est porté par 12 montants A, dont 4 sont munis d'un guidage auxiliaire.

Les montants emboîtent, à la partie supérieure, dans le couvercle et, à la partie inférieure, dans un siège en fonte scellé dans le béton. Le tambour mobile s'appuie, par des boudins *bb'* en métal tendre (plomb et antimoine), à sa partie supérieure, sur le couvercle fixe, et, à sa partie inférieure, sur le siège de la vanne. Sous le poids du tambour, la garniture métallique réalise une fermeture étanche.

Pour parer au danger d'irruption brusque de l'eau et des chocs du tambour contre ses montants, en cas de soulèvement trop rapide, on a muni la partie supérieure du couvercle d'une soupape *s* qui permet de remplir d'eau la chambre de la turbine et la conduite, avant de commencer à soulever le tambour.

Les vannes se manœuvrent, de l'intérieur de l'usine, à l'aide de treuils fixes installés sur la passerelle de service du mur-barrage (pl. LIII, fig. 1, 6, 7, 8, 9, 10 et 11). Les tambours des vannes sont munis de deux balanciers BB articulés, reliés, chacun par une chaîne et 3 poulies de retour, à un contrepoids en lames de fonte, qui équilibre la plus grande partie du poids du tambour. Un bâti de fonte FF', fixé par des tiges et des plateaux d'ancrage à la maçonnerie du mur-barrage, porte le treuil de manœuvre. La traction s'exerce par une chaîne à maillons sur le contrepoids.

La soupape du couvercle se manœuvre aussi de la passerelle intérieure de l'usine, à l'aide d'un levier à main *l* et de tringles *tt'* avec renvois d'équerre (fig. 1, 6, 10 et 11).

L'entrée des vannes d'admission est protégée contre l'introduction des corps flottants par des grilles, inclinées à 45°, dont les barreaux laissent entre eux des vides de 3 centimètres.

Les vannes des chambres d'excitation sont du même type avec des dimensions moindres.

**Pont transbordeur et chariot roulant.** — Le montage des grosses pièces des turbines et des dynamos, s'est opéré, comme nous l'avons dit au chapitre précédent, à l'aide d'un pont transbordeur et d'un treuil roulant destinés surtout à servir aux réparations en cours d'exploitation (pl. LIV).

Le pont est animé d'un mouvement de translation dans le sens de la longueur de l'usine, le treuil, d'un mouvement transversal sur le pont lui-même.

Le pont roulant, d'un type ordinaire, est formé de deux poutres pleines de 11<sup>m</sup>,50 de longueur d'axe en axe des appuis, distantes entre elles de 0<sup>m</sup>,93. Ces poutres se rapprochent de la forme du solide d'égale résistance; elles sont entretoisées à leurs extrémités, par des poutres jumelles auxquelles sont adaptés les essieux et les roues porteuses qui circulent sur le chemin de roulement; elles portent, chacune, un rail sur lequel se déplace le treuil roulant. Des consoles soutiennent un plancher, de 1<sup>m</sup>,03 de largeur, pour la circulation sur le pont et les manœuvres de chaque côté du treuil. Au milieu d'un de ces planchers sont établis, sur des poutrelles de renfort, les appareils de translation du pont roulant. Une plate-forme en saillie sur le plancher du pont permet la circulation autour de ces appareils de translation. Les appareils de translation se composent simplement d'un arbre horizontal A (fig. 4, 5 et 6) de la longueur du pont, actionnant, à chacune de ses extrémités, par l'intermédiaire d'un pignon, une roue d'engrenage fixée sur l'arbre des galets de roulement. Cet arbre reçoit son mouvement d'un petit arbre parallèle, par l'intermédiaire d'une roue d'engrenage et d'un pignon, et cet arbre parallèle est lui-même actionné par une chaîne sans fin mue de la plate-forme du pont à l'aide d'une manivelle.

Le treuil roulant est du type Mégy avec frein automatique mixte à lame d'acier. Le frein Mégy est trop connu pour qu'il soit utile de le décrire ici. La disposition du mécanisme est telle qu'au levage de la charge, si l'on cesse d'agir sur la manivelle de manœuvre, le poids soulevé reste maintenu par un cliquet dans la position qu'il occupe à ce moment; à la descente, on peut opérer, soit au régulateur, avec une vitesse réglée automatiquement, soit au droite et gauche, avec un mouvement aussi lent qu'on le désire et un maximum de vitesse qu'on ne peut dépasser sans produire l'arrêt.

---

## § 2. — CALCULS DES TURBINES

Les conditions principales à réaliser par le constructeur étaient :

- 1° Un rendement de 76 p. 100, quelle que soit la hauteur de chute ;
- 2° Un nombre constant de tours, quelles que soient la hauteur de chute et les variations de la résistance.

Nous allons montrer par des considérations théoriques comment la turbine radiale centripète, de forme conique, se prête à la réalisation de ces deux conditions.

**Calcul du rendement et de la vitesse angulaire de la turbine. Formules théoriques.** — Désignons par :

$R$ , le rendement de la turbine ;

$\omega$ , la vitesse angulaire ;

$E$ , l'énergie disponible ou énergie totale fournie par la chute ;

$h$ , la hauteur de chute ;

$Q$ , le débit ;

$T_u$ , le travail utile comprenant le travail absorbé par les résistances du mécanisme ;

$T_f$ , le travail absorbé par les résistances hydrauliques ;

$V_r$ , la vitesse de l'eau en sortant du tuyau d'échappement.

On a : 
$$E = T_u + T_f + \frac{Q}{g} \frac{V_r^2}{2}$$

Évaluons chacun des termes de cette égalité :

1°  $E = Q \times h$  ;

2°  $T_u$ .

Soient fig. (10) :

$V_1$ , la vitesse absolue de l'eau à la sortie de la roue directrice ;

$V_2$ , — — — — — à la sortie de la roue motrice ;

$v_1$ , la vitesse relative à l'entrée de la roue motrice ;

$v_2$ , — — — — — à la sortie de la roue motrice ;

$w_1$ , la vitesse d'entraînement à l'entrée de la roue motrice ;

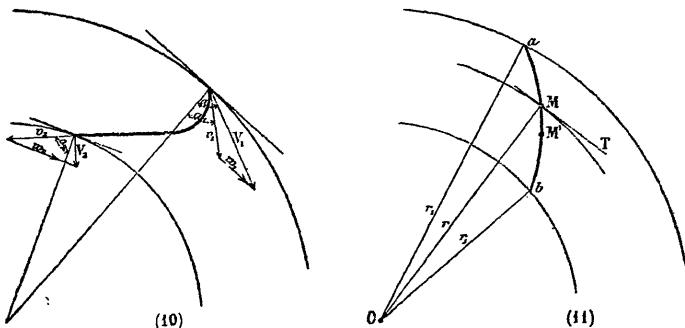
$w_2$ , — — — — — à la sortie de la roue motrice ;

$\alpha$ , l'angle de la direction de la vitesse absolue à l'entrée de la roue motrice avec le rayon correspondant ;

$\alpha_1$ , l'angle de la direction de la vitesse relative à l'entrée de la roue motrice avec le rayon correspondant ;

$\alpha_2$ , l'angle de la direction de la vitesse relative à la sortie de la roue motrice avec le rayon correspondant.

Supposons, dans les aubes, l'écoulement par filets parallèles et considé-



rons la trajectoire  $ab$  fig. (11) du mouvement absolu d'une molécule de masse  $m$  traversant les aubes.

La quantité d'eau qui traverse les aubes en un temps  $t$  est :

$$q = Qt.$$

Soit  $t_0$  le temps nécessaire à l'eau pour traverser les aubes, la quantité  $q_0$  que contiendra chacune des aubes à chaque instant sera,  $n$  étant le nombre des aubes,

$$q_0 = \frac{Q}{n} t_0$$

L'effort qui s'exerce sur la molécule de masse  $m$  passant du point M au point infiniment voisin M', peut être remplacé par deux composantes :

1° Une composante perpendiculaire au rayon OM ou tangente à la circonférence décrite par le point M de la turbine, que nous appellerons composante *tangentielle* ;

2° Une composante suivant le rayon, à laquelle correspond, suivant le même rayon, une composante égale et de sens contraire.

Les travaux développés par ces dernières composantes s'annulant deux à deux, il n'y a pas lieu d'en tenir compte dans la recherche du travail utile.

*Recherchons en conséquence le travail développé par les premières composantes :*

Soit  $u$ , la composante de la vitesse absolue de la molécule  $m$  suivant MT ;

Soient :  $u_1$ , la même composante à l'entrée de l'aube ;

$u_2$ , — — — — — à la sortie de l'aube.

Soient  $r, r_1, r_2$ , les rayons de la roue correspondant aux mêmes points de la trajectoire.

L'effort tangentiel  $F$  auquel la molécule est soumise

$$F = m \frac{du}{dt}$$

d'où

$$F dt = m du$$

et comme

$$dt = \frac{dq}{Q}$$

on a :

$$\frac{F}{Q} dq = m du$$

$$\frac{F}{m} \frac{dq}{g} = \frac{Q}{g} du$$

mais l'effort  $F$  étant celui qui en  $M$  s'applique à une masse  $m$ ,  $\frac{F}{m} \frac{dq}{g}$  sera l'effort qui en  $M$  s'applique à la masse d'eau  $\frac{dq}{g}$ .

Multiplions par  $\omega r$  les deux termes de l'équation précédente il vient :

$$\frac{F}{m} \omega r \frac{dq}{g} = \frac{Q}{g} \omega r du$$

d'où :

$$n \int_0^{q_0} \frac{F}{m} \omega r \frac{dq}{g} = \int_{u_1}^{u_2} \frac{Q}{g} \omega r du, \quad r \text{ variant de } r_1 \text{ à } r_2,$$

$\left(\frac{F}{m} \frac{dq}{g}\right) \omega r$  représente le travail par seconde de l'effort  $\frac{F}{m} \frac{dq}{g}$  et  $n \int_0^{q_0} \frac{F}{m} \omega r \frac{dq}{g}$  représente la somme de tous les travaux développés en une seconde par les forces qui agissent sur la masse d'eau qui remplit les aubes.

$\int_{u_1}^{u_2} \frac{Q}{g} \omega r du$  représente le moment de l'accroissement de la quantité de mouvement tangentiel de la masse  $\frac{Q}{g}$  traversant l'aube\*. Cet accroissement est égal à la différence des moments des quantités de mouvement à l'entrée et à la sortie  $\frac{Q\omega}{g} (r_2 u_2 - r_1 u_1)$ .

On a donc :

$$T_u = \frac{Q}{g} \times \omega \times (r_2 u_2 - r_1 u_1)$$

\* Cette proposition est presque évidente : néanmoins on peut la démontrer de la façon suivante :

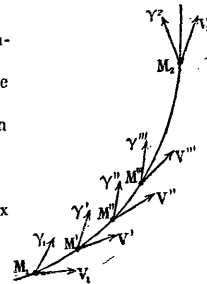
Soient  $M_1 M' M'' M''' \dots M_2$  les positions de la masse  $m$  sur la trajectoire dans le mouvement absolu à des intervalles de temps  $dt \ 2dt \ 3dt \dots$  etc.

$V_1 V' V'' V''' \dots V_2$  en grandeur et direction les vitesses de la masse  $m$  en ces différents points.

$\gamma_1 \gamma' \gamma'' \dots \gamma_2$  les accélérations correspondantes.

$r_1 r' r'' \dots r_2$  les rayons correspondants de la roue motrice.

$\varphi_1 \varphi' \varphi'' \dots \varphi_2$  les angles des accélérations avec la perpendiculaire aux rayons de la roue motrice aux points  $M_1 M' M'' M''' \dots M_2$ .



mais, d'après la figure (10), on a :

$$\begin{aligned} u_2 &= w_2 - v_2 \sin a_2 \\ u_1 &= V_1 \sin a \\ T_u &= \frac{Q}{g} \times \omega \times \left[ r_2 (w_2 - v_2 \sin a_2) - r_1 (V_1 \sin a) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Le travail utile de la turbine peut donc s'écrire :

$$T_u = \frac{Q}{g} \times \omega \left( r_1 V_1 \sin a + r_2 v_2 \sin a_2 - r_2 w_2 \right)$$

et comme :

$$\omega r_1 = w_1$$

$$\omega r_2 = w_2$$

on a :

$$T_u = \frac{Q}{g} \left[ w_1 V_1 \sin a + w_2 (v_2 \sin a_2 - w_2) \right]$$

Dans les turbines bien construites, l'eau doit sortir suivant la direction radiale ; on a  $w_2 = v_2 \sin a_2$  et l'expression du travail utile se réduit à :

$$T_u = \frac{Q}{g} w_1 V_1 \sin a \quad (2)$$

Cette expression peut s'écrire sous une autre forme.

Désignons par  $S_1$ , la section des guides à la sortie ;

— —  $S_2$ , — des aubes —

on a :

$$w_1 = \frac{r_1}{r_2} w_2$$

$$w_2 = v_2 \sin a_2$$

$$w_1 = \frac{r_1}{r_2} \times v_2 \times \sin a_2$$

$$S_1 V_1 = S_2 v_2$$

$$w_1 = \frac{r_1}{r_2} \times \frac{S_1}{S_2} \times V_1 \times \sin a_2$$

$$T_u = \frac{Q}{g} \times \frac{r_1}{r_2} \times \frac{S_1}{S_2} \times V_1^2 \sin a \sin a_2 \quad (3)$$

En prenant les moments des quantités de mouvement de la masse  $m$  par rapport à l'axe de la turbine on a :

$$M_0 m V' = M_0 m V_1 + M_0 m \gamma_1 dt$$

$$M_0 m V'' = M_0 m V' + M_0 m \gamma' dt$$

$$M_0 m V''' = M_0 m V'' + M_0 m \gamma'' dt$$

$$\dots \dots \dots$$

$$M_0 m V_2 = M_0 m V_n + M_0 m \gamma_n dt$$

d'où en additionnant et simplifiant :

$$M_0 m V_2 - M_0 m V_1 = M_0 m \gamma_1 dt + M_0 m \gamma' dt + \dots$$

Mais

$$M_0 m V_2 = u_2 r_2$$

et

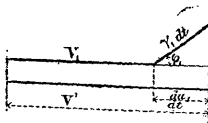
$$M_0 m V_1 = u_1 r_1$$

$$M_0 m \gamma_1 dt = m \gamma_1 \cos \varphi_1 \times r_1 dt = m \frac{du_1}{dt} \times r_1 dt$$

$$M_0 m \gamma' dt = m \gamma' \cos \varphi' \times r' dt = m \frac{du'}{dt} \times r' dt$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\begin{aligned} M_0 m \gamma_1 dt + M_0 m \gamma' dt + \dots &= m r_1 du_1 + m r_2 du_2 + \dots = \int m r du \\ &= m(u_2 r_2 - u_1 r_1) = \int m r du. \end{aligned}$$





3° Tf. — L'énergie perdue par les résistances passives : frottements, chocs, entraînement de force vive, etc... se compose de plusieurs éléments\*.

a) *Pertes dans les tuyaux d'amenée et d'échappement.* — Soient  $d$  le diamètre du tuyau,  $l$  sa longueur,  $S$  sa section,  $V$  la vitesse de l'eau dans le tuyau d'amenée, la perte d'énergie par unité de poids est égale à  $\mu \times \frac{l}{d} \times \frac{V^2}{2g}$  ou bien

$$\mu \times \frac{l}{d} \times \frac{S_1^2}{S^2} \times \frac{V_1^2}{2g}$$

$\mu$  est un facteur expérimental variable avec la vitesse :

Pour $V = 0,25$	$\mu = 0,035$ ;
— $V = 1,00$	$\mu = 0,0246$ ;
— $V = 10,00$	$\mu = 0,0216$ .

La vitesse d'écoulement dans les tuyaux d'amenée des turbines de l'usine de Cusset devant varier de 1<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>,80,  $\mu$  serait égal à 0,024.

Les pertes dans le tuyau d'échappement s'évaluent comme les pertes dans le tuyau d'amenée.

Soient :  $l'$ , la longueur du tuyau d'échappement ;

$d'$ , le diamètre — — ;

$S_r$ , la section — — ;

la perte d'énergie par unité de poids sera

$$\mu \times \frac{l'}{d'} \times \frac{S_1^2 V_1^2}{S_r^2 2g}.$$

b) *Pertes dans la roue directrice.* — Les pertes dans la roue directrice sont dues : 1° à la résistance offerte par les cloisons des aubes directrices qui, en divisant l'eau, causent des tourbillons ; 2° à la courbure des aubes ; 3° au frottement le long des aubes ; 4° aux chocs et tourbillons à la sortie des guides provenant d'un changement brusque de section.

Ces diverses pertes, par unité de poids, sont données par l'expression

$$\mu_1 \times \frac{V_1^2}{2g}$$

Suivant les constructeurs et suivant les turbines, le coefficient  $\mu_1$  varie entre 0,05 et 0,20. On adopte 0,10 à 0,125 pour une bonne turbine.

c) *Pertes dans la roue motrice.* — Les pertes sur les aubes de la roue motrice sont de même nature que les pertes sur les aubes de la roue directrice. Elles sont données par une expression de même forme que la précédente.

$$\mu_2 \times \frac{v_2^2}{2g}$$

---

\* Le mode suivant d'évaluation des pertes d'énergie dans les turbines est emprunté à l'ouvrage de M. G. Bodmer sur les moteurs hydrauliques.

ou comme  $v_2 S_2 = V_1 S_1$

$$\mu_2 \frac{V_1^2 S_1^2}{2g \times S_2^2}$$

dans laquelle  $\mu_2$  est un coefficient expérimental variant de 0,10 à 0,20.

*d) Pertes dues aux fuites entre la roue motrice et la roue directrice.* — Le jeu admis entre les couronnes de la roue directrice et celles de la roue motrice, nécessaire pour éviter le frottement entre les deux roues, est en général de 0,001 à 0,002. Le jeu réalisé dans les turbines de l'usine de Cusset est de 0,001.

Dans l'espace annulaire situé entre les deux roues, l'eau étant à une pression différente de l'eau de la bêche, il y a nécessairement écoulement ou appel d'eau. En pratique, il y a généralement écoulement vers l'extérieur, ce qui constitue une perte.

Soit  $q$  la quantité d'eau qui s'écoule entre les deux roues.

Il est assez difficile de se rendre compte exactement de ce qui se passe dans l'espace annulaire, parce qu'une partie de l'eau s'écoulant avant d'entrer dans les aubes, la condition de constance du débit n'est plus strictement satisfaite et que, pour déterminer la différence des pressions entre l'espace annulaire et la sortie des aubes, on suppose la continuité.

Admettant cette condition et désignant par :

$p_1$  la pression de l'eau à l'entrée des aubes de la roue motrice ;

$p_2$  — à la sortie — ;

$h_0$  la différence de niveau entre l'entrée et la sortie des aubes ;

$h_1$  la hauteur du bief amont au-dessus des aubes de la roue motrice ;

$h_2$  — aval au-dessous — ;

$a$  la pression atmosphérique.

En vertu du principe de la conservation de l'énergie on a :

$$a = \frac{V_1^2}{2g} + p_1 - h_1 + \mu \frac{l}{d} \times \frac{S_1^2}{S^2} \times \frac{V_1^2}{2g} + \mu_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} + p_2 = \frac{V_r^2}{2g} + a - h_2 + \mu \frac{l'}{d'} \times \frac{S_1^2}{S_r^2} V_1^2$$

On en tire :

$$p_1 = a + h_1 - \frac{V_1^2}{2g} - \mu \frac{l}{d} \times \frac{S_1^2}{S^2} \times \frac{V_1^2}{2g} - \mu_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$p_2 = a - h_2 - \frac{V_2^2}{2g} + \frac{V_r^2}{2g} + \mu \frac{l'}{d'} \times \frac{S_1^2}{S_r^2} V_1^2$$

$$p_1 - p_2 = h_1 + h_2 - \mu \left( \frac{l}{d} \times \frac{S_1^2}{S^2} + \frac{l'}{d'} \times \frac{S_1^2}{S_r^2} \right) V_1^2 - \left( 1 + \mu_1 \right) \frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_r^2}{2g}$$

Le débit qui traverse l'espace annulaire, en désignant par  $D$  le diamètre de la roue, par  $t$  le jeu, est :

$$q = 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g} \times 2\pi Dt$$

On peut admettre que la perte d'énergie par l'espace annulaire est à l'énergie totale dans le rapport de  $\frac{q}{Q}$ .

*Remarque. — Pertes dues aux résistances du mécanisme.* — Les pertes dues aux résistances du mécanisme, aux frottements de l'arbre sur ses pivots, paliers etc., n'interviennent pas dans l'expression du travail moteur développé par l'eau qui traverse la turbine ; mais, pour avoir le travail effectif disponible sur l'arbre de la turbine, il faudra déduire du travail moteur les pertes dues aux résistances du mécanisme, généralement comprises entre 2 et 3,50 p. 100 de la puissance totale.

$$4^{\circ} \quad \frac{Q}{g} \frac{V_r^2}{2} = \frac{Q}{2g} \times \frac{V_t^2 S_t^2}{S_r^2}$$

Ce terme représente la perte due à la vitesse d'échappement.

La vitesse de l'eau, en quittant les aubes, varie de  $\frac{1}{4}$  à  $\frac{1}{3,5}$  de  $\sqrt{2gh}$  ; pour les grandes turbines et les faibles chutes,  $\frac{1}{5} \sqrt{2gh}$  peut être considéré comme la limite inférieure. Dans les turbines du canal de Jonage, elle est égale à :

$$\frac{1}{4} \sqrt{2gh} \quad \text{et la vitesse} \quad V_r = \frac{1}{4} \sqrt{2gh} \times \frac{S_2}{S_r}.$$

Voici, d'après les résultats obtenus par M. Lehmann sur 30 turbines variant de 1 à 500 chevaux, la proportion des différentes pertes que nous venons de calculer :

PERTES POUR CENT DUES :	TURBINES axiales	TURBINES RADIALES centrifuges	TURBINES RADIALES centripètes
Aux résistances hydrauliques. . . .	12	14	10
A l'énergie entraînée . . . . .	3	7	6
Aux résistances du mécanisme. . .	3	2	2
	18	23	18
Rendement. . . . .	0,82	0,77	0,82

Revenant à l'égalité initiale :

$$E = T_u + T_f + \frac{Q}{g} \times \frac{V_r^2}{2}$$

nous aurons en remplaçant les termes par leur valeur,

$$Qh = \frac{Q}{g} \frac{r_1}{r_2} \frac{S_1}{S_2} V_1^2 \sin a \sin a_2 + Q \left[ \frac{V_1^2}{2g} \left( \mu \left( \frac{l}{d} \frac{S_1^2}{S^2} + \frac{l'}{d'} \frac{S_1'^2}{S_r'^2} \right) + \mu_1 + \mu_2 \frac{S_1^2}{S_2^2} + \frac{S_1'^2}{S_r'^2} \right) + \frac{h \times 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g} \times 2\pi D t}{Q} \right] \quad (4)$$

d'où :

$$V_1^2 = \frac{2g \left[ h - \frac{h \times 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g} \times 2\pi D t}{Q} \right]}{2 \frac{r_1}{r_2} \frac{S_1}{S_2} \sin a \sin a_2 + \mu \left( \frac{l}{d} \frac{S_1^2}{S^2} + \frac{l'}{d'} \frac{S_1'^2}{S_r'^2} \right) + \mu_1 + \mu_2 \frac{S_1^2}{S_2^2} + \frac{S_1'^2}{S_r'^2}} \quad (5)$$

Soient :  $e_1$  la hauteur des aubes de la roue directrice ;

$e_2$  — motrice ;

on a, approximativement, en négligeant l'épaisseur des cloisons de séparation :

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{r_1 e_1 \cos a}{r_2 e_2 \cos a_2}$$

$$V_1^2 = \frac{2g \left[ h - \frac{h \times 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g} \times 2\pi D t}{Q} \right]}{2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \frac{e_1}{e_2} \frac{\cos a}{\cos a_2} \sin a \sin a_2 + \mu \left( \frac{l}{d} \frac{S_1^2}{S^2} + \frac{l'}{d'} \frac{S_1'^2}{S_r'^2} \right) + \mu_1 + \mu_2 \frac{r_1^2 e_1^2 \cos^2 a}{r_2^2 e_2^2 \cos^2 a_2} + \frac{S_1'^2}{S_r'^2}} \quad (5)$$

**Rendement.** — Le rendement de la turbine ou rapport du travail utile à l'énergie totale, est égal à :

$$R = \frac{\frac{Q}{g} \times \frac{r_1}{r_2} \times \frac{S_1}{S_2} \times V_1^2 \sin a \sin a_2}{Qh} = \frac{1}{gh} \frac{r_1}{r_2} \frac{S_1}{S_2} \sin a \sin a_2 V_1^2 \quad (7)$$

$$= \frac{1}{gh} \frac{r_1^3}{r_2^3} \frac{e_1}{e_2} \frac{\cos a}{\cos a_2} \sin a \sin a_2 V_1^2 \quad (8)$$

$$R = \frac{2 \frac{\cos a}{\cos a_2} \sin a \sin a_2 \left[ 1 - \frac{0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g} \times 2\pi D t}{Q} \right]}{2 \frac{\cos a}{\cos a_2} \sin a \sin a_2 + \mu_2 \frac{e_1}{e_2} \frac{\cos^2 a}{\cos^2 a_2} + \left[ \mu_1 + \mu \left( \frac{l}{d} \frac{S_1^2}{S^2} + \frac{l'}{d'} \frac{S_1'^2}{S_r'^2} \right) + \frac{S_1'^2}{S_r'^2} \right] \frac{e_2}{e_1} \frac{r_2^3}{r_1^3}} \quad (9)$$

On peut faire sur ces égalités les remarques suivantes :

Le terme soustractif du numérateur est faible par rapport à l'unité. Il représente environ 0,04 et a sensiblement la même valeur dans les différentes turbines.

La formule (7) montre qu'il y a intérêt, toutes choses égales d'ailleurs, à faire  $a$  et  $a_2$  aussi grands que possible pour augmenter le rendement. On reconnaît *a priori* sur la figure (10) que, à égalité de vitesse relative et de vitesse d'entraînement, plus l'angle  $a_2$  sera grand, plus la vitesse résiduelle à la sortie de la roue motrice sera faible. Mais, d'autre part,  $a$  et  $a_2$  ne peuvent prendre des valeurs trop voisines de  $90^\circ$ , sans quoi la section de sortie de

la roue directrice, proportionnelle à  $r_1 e_1 \cos a$ , et la section de sortie de la roue motrice, proportionnelle à  $r_2 e_2 \cos a_2$ , se trouveraient considérablement réduites du fait de  $a$  et  $a_2$  et l'on serait obligé d'augmenter la hauteur et le poids de la roue. Dans la pratique,  $a_2$  varie entre  $60^\circ$  et  $80^\circ$ , et  $a$  reste inférieur à  $80^\circ$ .

D'après la formule (9), on voit que, toutes choses égales d'ailleurs, plus  $\frac{r_2}{r_1}$  sera petit, plus le rendement sera grand; or,

$$\frac{r_2}{r_1} < 1 \text{ dans les turbines centripètes,}$$

$$\frac{r_2}{r_1} > 1 \text{ dans les turbines centrifuges.}$$

*Les turbines centripètes ont donc un meilleur rendement que les turbines centrifuges et le rendement s'améliore d'autant plus que le rapport  $\frac{r_2}{r_1}$  est plus petit. La différence  $r_2 - r_1$  ne pouvant pas varier dans de grandes limites, attendu qu'il faut donner aux aubes une largeur suffisante pour ne pas produire de changements brusques dans la direction de l'eau, ce rapport  $\frac{r_2}{r_1}$  diminue dans les turbines centripètes, à mesure que  $r_2$  diminue. Toutefois, la diminution du rayon  $r_2$  est nécessairement limitée par la condition d'avoir une section suffisante à l'échappement. Les filets d'eau, sortant suivant le rayon, se retournent suivant une parabole sous l'influence de la pesanteur et il faut que ce changement de direction s'opère sans rencontre, sans choc, sinon il y aurait perte de force vive à la sortie. Cette condition limite nécessairement la valeur de  $r_2$ . Pour diminuer  $r_2$  au-dessous de cette valeur, on doit recourir à l'écoulement extérieur, c'est-à-dire à la turbine centrifuge.*

*Vitesse angulaire.* — La vitesse de rotation à la circonférence extérieure

$$w_1 = \frac{r_1}{r_2} w_2.$$

A la marche de régime, nous avons vu que :

$$w_2 = v_2 \sin a_2 = \frac{S_1}{S_2} V_1 \sin a_2$$

$$w_1 = \omega r_1 = \frac{r_1}{r_2} \frac{S_1}{S_2} V_1 \sin a_2 = \frac{r_1^2 e_1 \cos a}{r_2^2 e_2 \cos a_2} \sin a_2 V_1$$

$$\omega r_1 = \frac{r_1^2 e_1 \cos a}{r_2^2 e_2 \cos a_2} \sin a_2 \sqrt{2g \left[ h - \frac{h \times 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g \times 2\pi D l}}{Q} \right]}$$

$$\omega = \frac{1}{r_2} \frac{e_1 \cos a}{e_2 \cos a_2} \sin a_2 \sqrt{2g \left[ h - \frac{h \times 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g \times 2\pi D l}}{Q} \right]}$$

$$\omega = \frac{1}{r_2} \frac{e_1 \cos a}{e_2 \cos a_2} \sin a_2 \sqrt{2g \left[ h - \frac{h \times 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g \times 2\pi D l}}{Q} \right]}$$

$$\omega = \frac{1}{r_2} \frac{e_1 \cos a}{e_2 \cos a_2} \sin a_2 \sqrt{2g \left[ h - \frac{h \times 0,70 \sqrt{(p_1 - p_2) 2g \times 2\pi D l}}{Q} \right]}$$

Si l'on considère que le dénominateur est peu influencé par la variation de  $\frac{r_2}{r_1}$ , attendu que le terme qu'il affecte est faible relativement au premier, (une partie des pertes par frottement relativement au travail moteur), on voit que la vitesse angulaire varie en raison directe de  $\sqrt{h}$  et sensiblement en raison inverse de  $r_2$ .

Ainsi, pour obtenir un nombre constant de tours, quelle que soit la hauteur de chute, il faut faire varier  $r_2$  en raison directe de  $\sqrt{h}$ .

*De là, la forme tronç conique et l'admission de l'eau par les deux étages inférieurs seulement, quand la hauteur d'eau est maxima.*

*Constance dans le nombre de tours malgré les variations de la résistance.*

D'après M. Bodmer, la vitesse  $V_1$ , à la sortie de la roue directrice, est donnée approximativement par l'expression :

$$V_1 = \frac{Bw_2}{1+\beta} + \frac{S_2}{S_1} \sqrt{\frac{2gh}{1+\beta} + \frac{C+B^2}{(1+\beta)^2} w^2}$$

expression dans laquelle.

$$B = \frac{r_1}{r_2} \frac{S_2}{S_1} \sin \alpha_1$$

$$C = \left(1 + \beta\right) \left(1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right)$$

$S_1$  étant la section à l'entrée des aubes de la roue motrice;

$\beta$ , un facteur expérimental dépendant des dimensions de la turbine. On peut d'ailleurs le déterminer facilement; il suffit de caler la roue de la turbine et de mesurer la vitesse  $V_1$ , on a :

$$w_2 = 0$$

$$V_1 = \frac{S_2}{S_1} \sqrt{\frac{2gh}{1+\beta}}$$

$\frac{S_2}{S_1} \sqrt{\frac{1}{1+\beta}}$  représente donc le rapport de la vitesse que prend l'eau à travers la turbine, la roue calée, à la vitesse qu'elle prendrait sous l'influence de la pesanteur.

C étant négatif dans les turbines centripètes, on voit que, les dimensions de la turbine étant convenablement établies,  $V_1$  peut augmenter lorsque  $w_2$  diminue et diminuer lorsque  $w_2$  augmente.

D'autre part, le travail de la turbine est égal à :

$$T_u = \frac{w_1 V_1 \sin \alpha}{g}$$

au voisinage de la vitesse de régime.

Si la turbine fonctionne à sa marche de régime et qu'on diminue brusquement le couple résistant, elle prendra un accroissement de vitesse d'entraînement; mais alors la vitesse d'écoulement  $V_1$  diminuera et tendra à ramener  $w_1$  à sa valeur normale. Cette action régulatrice est d'autant plus énergique que  $\frac{r_1}{r_2}$  est plus grand. En augmentant  $\frac{r_1}{r_2}$ , on pourrait presque arriver à rendre le moteur isochrone. Ainsi, les turbines *centripètes* bien construites, sont dans une certaine mesure *auto-régulatrices*.

*Vitesse de régime.* — Le rendement à une vitesse  $w_2$  est égal à :

$$R = \frac{w_1 V_1 \sin a + w_2 (v_2 \sin a_2 - w_2)}{gh}$$

$$R = \frac{\frac{r_1}{r_2} V_1 w_2 \sin a + w_2 v_2 \sin a_2 - w_2^2}{gh}$$

Si la vitesse  $V_1$  était constante, le maximum de rendement aurait lieu pour  $w_2$  tel que :

$$\frac{r_1}{r_2} V_1 \sin a + v_2 \sin a_2 - 2w_2 = 0$$

$$w_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{r_1}{r_2} V_1 \sin a + v_2 \sin a_2 \right]$$

D'après l'équation (1), cette vitesse est égale à la moitié de la vitesse correspondant à une charge nulle.

En réalité, ainsi que nous l'avons vu, la vitesse d'écoulement n'est pas constante et la vitesse de régime ou de travail maximum d'une turbine à réaction est généralement supérieure à celle qui est donnée par la formule précédente. Pour obtenir la vitesse de rendement maximum, il faudrait remplacer  $V_1$  et  $v_2$  par leur valeur en fonction de  $w_2$ , mais cette méthode compliquée ne sert pas dans la pratique. D'ailleurs, la vitesse de rendement maximum n'est pas toujours la vitesse de travail maximum, en raison des variations des pertes d'énergie avec la vitesse.

**Formules pratiques.** — Dans la pratique, on détermine la vitesse de régime de la turbine par deux conditions :

1° Entrée de l'eau tangentiellement à la roue mobile c'est-à-dire vitesse relative tangente à la courbe des aubes.

Cette condition évite le choc de l'eau à l'entrée et la perte de force vive qui en résulte.

2° Sortie de l'eau suivant le rayon de la roue pour éviter des chocs et des pertes de force vive, à la sortie de la turbine. En effet, on voit que, si les filets liquides faisaient un angle avec le rayon de la roue à la sortie de la turbine, ils s'entrechoqueraient et se briseraient contre les roues.

Cette deuxième condition correspond, pour une direction et une valeur déterminées de la vitesse relative, au minimum de la vitesse absolue à la sortie de la turbine. Si l'on décompose, en effet, la vitesse  $v_2$  à la sortie avec la vitesse d'entraînement  $w_2$ , on obtient la vitesse  $V_2$  dont le minimum a lieu évidemment pour la sortie radiale. Dans une turbine sans tube d'aspiration, cette vitesse correspond, évidemment aussi, au minimum d'énergie perdue à la sortie.

Ces deux conditions, entrée tangentielle de l'eau et sortie radiale, se traduisent par les équations de condition suivantes : (fig. 10).

Entrée tangentielle :

$$\begin{aligned} v_1 \cos a_1 &= V_1 \cos a \\ w_1 &= V_1 \sin a - v_1 \sin a_1 \\ V_1^2 &= v_1^2 + w_1^2 + 2v_1 w_1 \sin a_1 \\ \frac{w_1}{v_1} &= \frac{\sin(a - a_1)}{\cos a} \end{aligned}$$

Sortie radiale :

$$\begin{aligned} w_2 &= v_2 \sin a_2 \\ V_2 &= v_2 \cos a_2 \end{aligned}$$

auxquelles il faut joindre l'équation fournie par la condition de continuité d'écoulement :

$$V_1 S_1 = v_2 S_2$$

A l'aide de ces 7 équations, on peut déterminer 7 éléments en se donnant les autres.

*Vitesse d'écoulement à la sortie des guides.* — Dans la pratique, pour déterminer la vitesse d'écoulement à la sortie des guides, on part de l'équation

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{gh} \times \frac{r_1}{r_2} \frac{S_1}{S_2} \sin a \sin a_2 V_1^2 \\ V_1 &= \sqrt{\frac{R \times gh}{\frac{S_1}{S_2} \frac{r_1}{r_2} \sin a \sin a_2}} \end{aligned}$$

On prend, pour le rendement  $R$ , une valeur déterminée par l'expérience sur des turbines semblables, valeur voisine de 0,80 pour de bonnes turbines. On a :

$$V_1 = 0,90 \sqrt{\frac{gh}{\frac{S_1}{S_2} \frac{r_1}{r_2} \sin a \sin a_2}}$$

Posons pour simplifier :

$$K_1 = 0,90 \sqrt{\frac{1}{2 \frac{S_1}{S_2} \frac{r_1}{r_2} \sin a \sin a_2}}$$

On a :

$$V_1 = K_1 \sqrt{2gh}$$



$K_1$  varie suivant les turbines de 0,50 à 1,00.

*Vitesse angulaire.* — La vitesse angulaire se déduit de la vitesse d'écoulement.

Nous avons trouvé :

$$W_1 = \frac{r_1}{r_2} \frac{S_1}{S_2} \sin a_2 V_1 = \frac{r_1}{r_2} \frac{S_1}{S_2} \sin a_2 K_1 \sqrt{2gh}$$

Posons pour simplifier :

$$K_2 = K_1 \frac{S_1}{S_2} \frac{r_1}{r_2} \sin a_2$$

$$W_1 = K_2 \sqrt{2gh}$$

$K_2$  varie de 0<sup>m</sup>,40 à 0<sup>m</sup>,80.

*Rendement.* — Nous avons :

$$R = \frac{T_u}{E} = \frac{w_1 V_1 \sin a}{gh} = \frac{w_1 u_1}{gh}$$

*Détermination des sections des aubes de la roue directrice et de la roue motrice.* Soit  $l$  la largeur des aubes de la roue directrice à la sortie ; la section est obtruée par le passage de la cloison des aubes de la roue mobile fig. (12).

Soit  $\epsilon$  l'épaisseur de la cloison des aubes de la roue mobile, la largeur à déduire sera :

$$AB = AD \cos a = \epsilon \cos a$$

De plus, l'équation de continuité suppose l'écoulement par filets parallèles. En raison de la courbure des aubes, cette condition n'est pas absolument réalisée : il y a contraction de la veine liquide, ce qui équivaut à une diminution de la section des aubes.

On en tient compte en multipliant,

$$l - \epsilon \cos a$$

par un coefficient généralement égal à 0,90.

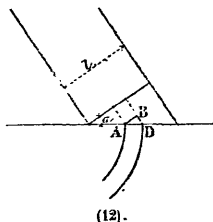
La section des aubes de la roue mobile doit aussi subir la correction d'un coefficient de contraction égal à 0,90.

*Application des formules pratiques.* — En appliquant ces formules aux turbines du canal de Jonage, nous avons :

Données :

Roue directrice.	{	Couronne inf.	$l = 62$	$e = 340$	32 aubes.
	{	Couronne moy.	$l = 62$	$e = 340$	26 aubes.
	{	Couronne sup.	$l = 61$	$e = 320$	20 aubes.

$$a \text{ moyenne} = 75^\circ \quad \sin a = 0,965926 \quad \cos a = 0,258819.$$



$$\begin{array}{l}
 \text{Roue} \\
 \text{motrice.} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Couronne inf. } l = 56 \quad e = 340 \quad 32 \text{ aubes } r_1 = 1.064 \quad r_2 = 890 \quad \frac{r_1}{r_2} = 1,195. \\
 \text{Couronne moy. } l = 55 \quad e = 340 \quad 26 \text{ aubes } r_1 = 881 \quad r_2 = 707 \quad \frac{r_1}{r_2} = 1,246. \\
 \text{Couronne sup. } l = 54 \quad e = 320 \quad 20 \text{ aubes } r_1 = 704 \quad r_2 = 530 \quad \frac{r_1}{r_2} = 1,328.
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$a_2 \text{ moyenne} = 64^\circ \quad \sin a_2 = 0,898794.$$

Admission par les deux étages inférieurs entièrement découverts :

$$S_1 = 0,90 [58 \times 340 \times 62 - 58 \times 340 \times 23 \times 0,259] = 994.600 \text{ mm}^2.$$

$$S_2 = 0,90 [32 \times 340 \times 56 + 26 \times 340 \times 55] = 986.000 \text{ mm}^2.$$

Admission par les trois étages entièrement découverts :

$$S_1 = 0,90 [(58 \times 340 \times 62 + 20 \times 320 \times 61) - (58 \times 340 \times 23 + 20 \times 320 \times 23) 0,259] = 1.311.700 \text{ mm}^2.$$

$$S_2 = 0,90 [32 \times 340 \times 62 + 26 \times 340 \times 55 + 20 \times 320 \times 54] = 1.296.000 \text{ mm}^2.$$

et nous arrivons aux résultats consignés au tableau suivant :

$h$ hauteur de chute.	$S_1$	$S_2$	$\frac{S_1}{S_2}$	$\frac{r_1}{r_2}$	$K_1$	$K_2$	$V_1$	$Q$	$N$ (nombre de tours par minute)	$T_u$ (travail moteur y compris résistance du mécanisme)	$R$ Rendement $\frac{T_u}{Qh}$	REMARQUE
m.	m <sup>2</sup> .	m <sup>2</sup> .						m <sup>3</sup> .		HP		
14,00	0,99	0,98	1,01	1,220	0,614	0,680	10,17	10,115	111	1.322	0,81	Admission par les 2 étages inférieurs entièrement découverts.
11,00	1,13	1,29	1,01	1,246	0,608	0,688	8,93	11,713	109	1.387	0,80	
10,00	1,31	1,29	1,01	1,246	0,608	0,688	8,51	11,160	104	1.200	0,805	
9,00	1,31	1,29	1,01	1,246	0,608	0,688	8,08	10,600	99	1.030	0,81	Admission par les 3 étages entièrement découverts.

*Remarque.* — Pour tenir compte des pertes du mécanisme et obtenir l'énergie disponible sur l'arbre de la turbine, il faut diminuer le rendement ainsi obtenu d'environ 4 p. 100. Le rendement effectif s'abaisse donc entre 76 et 77 p. 100, chiffre garanti par le constructeur.

Quant au travail moteur, les épreuves ont montré que la turbine, entre 14 mètres et 11 mètres de chute, peut fournir la puissance garantie de 1.250 chevaux à la vitesse de 120 tours.

Au-dessous de 11 mètres de chute la puissance des turbines ainsi construites pouvant devenir insuffisante, la Société des Forces Motrices du Rhône a commandé, pour le groupe restant à installer, 8 turbines Francis à deux roues motrices montées sur le même arbre à 2 étages différents. Ces tur-

bines de 1.350 à 1.500 chevaux chacune fourniront aux faibles chutes la puissance complémentaire nécessaire, grâce à un excès de débit facile à réaliser en temps de hautes eaux du Rhône.

A la date du 31 décembre 1901, cinq de ces turbines étaient installées; les trois dernières sont en montage et compléteront incessamment pour toutes les hauteurs de chute éventuelles, la puissance hydraulique prévue pour l'usine de Cusset.

---

# **CHAPITRE III**

## **INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES**

## CHAPITRE III

### INSTALLATIONS ELECTRIQUES

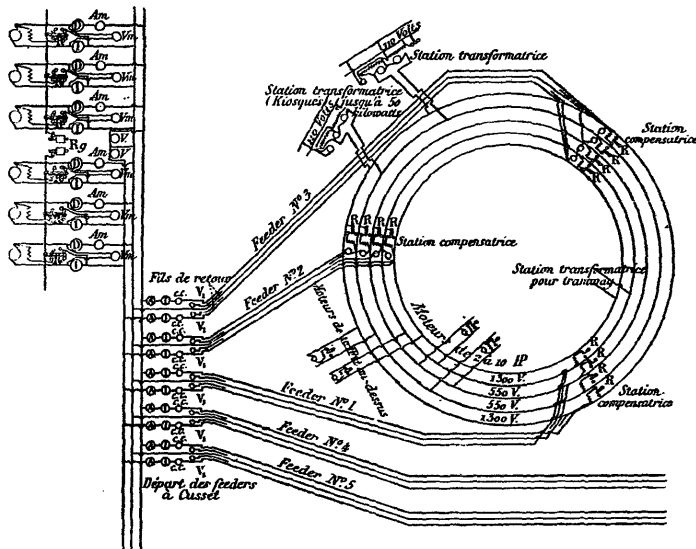
#### USINE — CANALISATION — DISTRIBUTION

**Mise au concours du projet d'installations électriques.** — Une commission, composée de MM. Ferraris, Eric Gérard et Picou, établit dès le principe, le programme d'un concours entre constructeurs électriciens. La rédaction de ce programme laissait aux concurrents une grande liberté pour traiter le sujet. La Commission recommandait cependant le courant alternatif polyphasé, des unités de 1.000 HP, une différence de potentiel efficace de 5.500 volts, entre les câbles, à la sortie de l'usine génératrice, un réseau primaire desservi par 6 feeders, deux sous-stations délivrant le courant à 110 volts, l'une aux moteurs de petite industrie, l'autre à l'éclairage.

Cinq projets se partagèrent le prix de 20.000 francs alloué par la Société des Forces Motrices du Rhône. Ce furent deux projets de M. Thury, un projet de MM. Schneider et C<sup>ie</sup> au Creusot, un projet de la Société Alsacienne de constructions mécaniques et un projet de MM. Brown et Boveri.

Le premier projet Thury (13) comportait le choix du courant continu dont le constructeur est demeuré partisan convaincu. Deux groupes de génératrices à 2.000 volts, montés en série, étaient connectés, à l'intérieur de l'usine, à trois barres collectrices, pour former une distribution à 3 fils. Ces barres alimentaient 5 feeders, également formés de trois fils. Le fil central de chacun des feeders était relié à la terre. Le réseau primaire comportait un système de 5 câbles. Les feeders étaient reliés au câble central et aux extrêmes. Dans chacun des ponts, le voltage était fractionné à l'aide de compensateurs, de façon à donner deux canalisations à 1.300 volts et deux à 550 volts. Les petits moteurs, jusqu'à 10 chevaux, et les tramways devaient être branchés sur la canalisation à 550 volts. Les moteurs de plus de 10 chevaux et les transformateurs devaient être alimentés par les circuits à 1.300 volts.

Le second projet Thury, conforme au programme, adoptait le courant alternatif biphasé avec tension initiale de 5.500 volts et réduction à 110 volts pour l'éclairage et les moteurs de petite industrie. Le service des tramways était assuré par une transformation à 600 volts.



(13)

MM. Schneider et C<sup>e</sup> du Creusot, la Société Alsacienne de constructions mécaniques et la maison Brown et Boveri, préconisaient l'emploi du système triphasé, dans des projets beaucoup plus sommaires.

**Choix du courant triphasé.** — Le jury, réuni pour juger les résultats du concours, porta son choix sur le courant biphasé avec distribution à 3 fils.

Le courant alternatif a, sur le courant continu, le grand avantage de la simplicité des appareils ; avec les hautes tensions, le bobinage et les collecteurs des dynamos à courant continu deviennent très compliqués. De construction plus simple, les générateurs, moteurs, transformateurs à courant alternatif sont moins susceptibles de dérangement et plus faciles à réparer. Quant à l'infériorité, longtemps reprochée au courant alternatif, de moins bien se prêter au démarrage des moteurs, elle a disparu par l'emploi de moteurs de mieux en mieux appropriés au travail qu'ils doivent fournir.

Les courants polyphasés se prêtent mieux que le courant monophasé au démarrage automatique et ils ont sur lui le grand avantage de l'économie. Les générateurs sont moins coûteux par suite d'une meilleure utilisation de la surface de l'induit; la transformation est aussi moins dispendieuse.

Dans la canalisation, à perte de puissance égale, l'économie, par suite de la suppression du fil de retour, peut atteindre 25 p. 100 avec les courants biphasés ou triphasés. Cet avantage suppose toutefois : 1° que la ligne et les appareils récepteurs ne possèdent ni inductance ni capacité; 2° que les sections de la ligne sont également chargées. Le décalage pouvant modifier notablement les résultats, il y a lieu de prendre certaines précautions. C'est ainsi que, dans le cas de la distribution de Jonage, l'inconvénient est atténué par l'effet de la grande capacité des câbles souterrains, et peut être même complètement annulé par l'emploi rationnel de moteurs synchrones.

Le courant biphasé avec distribution à 3 fils, offrait l'avantage, en cas d'échec, de pouvoir être transformé en 2 circuits monophasés par l'adjonction d'un quatrième fil; mais, à la suite d'un voyage d'études entrepris par MM. Raclet, administrateur délégué de la Société, Henrard, ingénieur en chef de l'exploitation, Eric Gérard, membre de la Commission, la supériorité du courant triphasé parut établie par des exemples nombreux et son application résolue d'une façon pratique : on pouvait citer l'exemple de la gare de Dresde, de la ville de Chemnitz, de la fonderie de Mulhouse, des mines de Carmaux, de l'usine Saint-Victor à Saint-Étienne, etc., etc. Un doute subsistait toutefois, relativement à l'utilisation directe des courants triphasés pour traction des tramways. L'objection portait sur la difficulté du réglage économique de la vitesse; mais MM. Brown, Boveri et C<sup>ie</sup> pensaient déjà avoir résolu la difficulté et construisaient, dès cette époque, les voitures des tramways de Lugano, qui devaient, après quelques tâtonnements, consacrer l'usage du courant triphasé pour traction de tramways. Le courant triphasé, de l'avis de certains électriciens, paraît même remporter un avantage sur le courant continu en produisant, entre le trolley et le fil de trolley, des étincelles plus faibles que le courant continu et, par suite, en déterminant une usure moindre du fil.

Le choix du courant triphasé fut alors décidé.

**Tension et fréquence du courant.** — La tension, d'abord prévue à 5.500 volts, a été abaissée à 3.500 volts efficaces. On a tenu à ne pas dépasser cette tension dans la canalisation, pour faire usage de câbles souterrains isolés au papier. Au delà de cette tension, il aurait fallu recourir au caoutchouc comme

isolant et le caoutchouc a l'inconvénient d'être coûteux et de s'altérer lentement en diminuant de résistivité ; dans le réseau de Lyon, ce dernier défaut eût été d'autant plus grave, que ce réseau est entièrement souterrain.

La fréquence a été arrêtée à 50 périodes, de façon à convenir à la force motrice et à l'éclairage. Les basses fréquences sont favorables aux moteurs dont elles facilitent le démarrage et réduisent la vitesse, les hautes fréquences sont favorables à l'éclairage et restreignent les dimensions des transformateurs. La fréquence de 50 périodes s'applique bien au réseau mixte de Lyon. Elle n'est pas exagérée pour les moteurs et convient aux lampes à incandescence. Les lampes à arc scintillent un peu sous cette périodicité, mais les oscillations deviennent insensibles lorsqu'on a soin d'envelopper le foyer d'un globe opalin et de placer, au-dessus du charbon supérieur, un réflecteur en tôle émaillée.

**Installation électrique de l'usine.** — La puissance des unités génératrices d'abord prévue à 1.000 HP fut élevée à 1.250 HP par la Société des Forces Motrices du Rhône, d'accord avec le constructeur.

L'ensemble de l'installation électrique de l'usine comporte finalement :  
16 alternateurs triphasés, disposés symétriquement par rapport à l'axe transversal de l'usine, d'une puissance unitaire de 900 à 1.100 kilowatts.

3 excitatrices d'une puissance unitaire de 174 kilowatts occupant la position centrale.

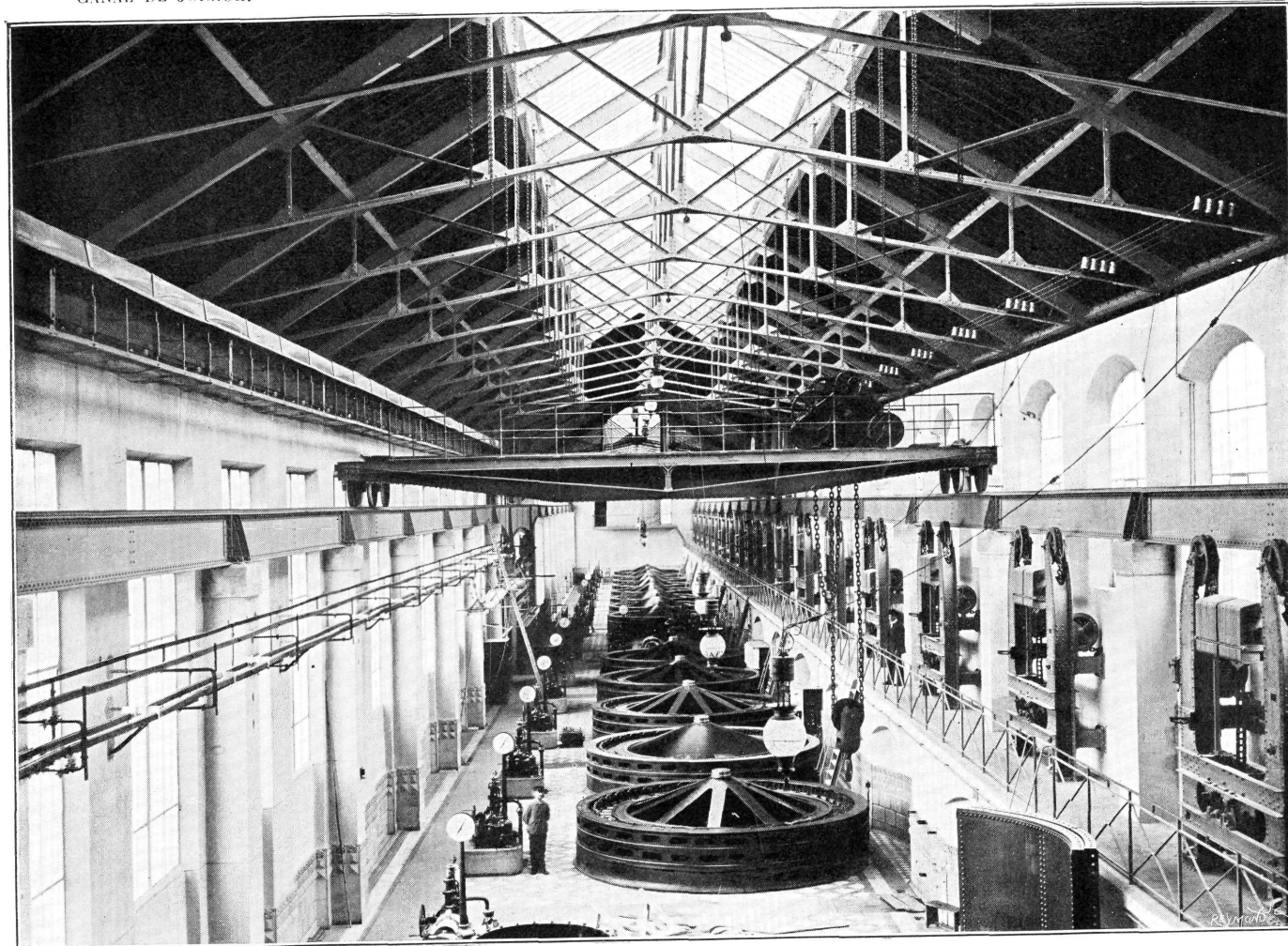
Un tableau, au centre du bâtiment, réglant et distribuant le courant d'excitation, recevant et groupant les courants des alternateurs.

Un tableau des feeders, à l'extrémité de l'usine, distribuant le courant général dans les artères de la canalisation.

**Alternateurs (14) et (15).** — Les alternateurs peuvent débiter  $3 \times 200$  ampères avec  $\cos \varphi = 0.74$ , au voltage de 3.500 volts et à la vitesse de 120 tours par minute. Leur inducteur est mobile et leur induit fixe.

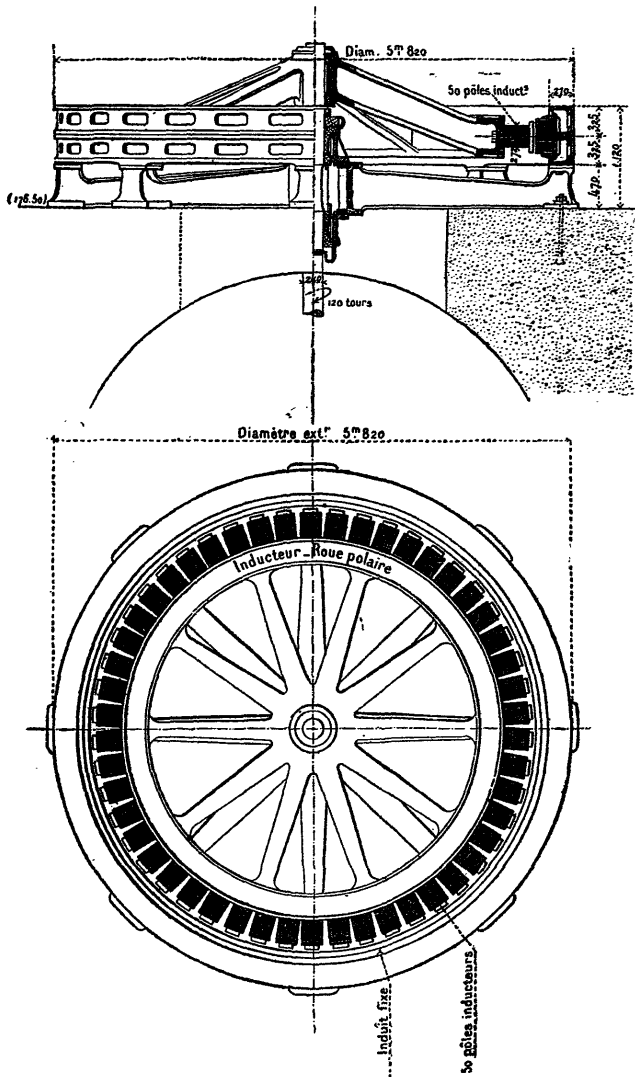
L'inducteur est du type ombrelle, analogue à l'inducteur Ferranti pour courants alternatifs. C'est une couronne de fonte, profilée en forme d'U, horizontale, circulaire, reliée par des bras inclinés de section double T à un moyeu claveté sur l'arbre de la turbine. Cette couronne ou jante formée de deux parties réunies par des boulons, présente 4 mètres de diamètre. A la surface, sont disposés 50 noyaux cylindriques d'acier de 22<sup>cm</sup>,5 de diamètre, terminés, chacun par une pièce polaire rectangulaire : les noyaux portent les bobines inductrices formées, chacune de 61 spires de 3 millimètres sur 20 millimètres. Ces spires ne présentent entre elles qu'une très faible différence





VUE INTÉRIEURE DE L'USINE

de voltage, environ  $\frac{120}{60 \times 61} = 0,04$  et ne sont isolées que par une couche de papier.



(14) et (15).

Un collecteur, à deux bagues, calé sur l'arbre de la machine, amène le courant d'excitation.

L'induit est constitué par une couronne de fonte circulaire bombée. Cette couronne, formée de deux parties de 5<sup>m</sup>,82 de diamètre extérieur, est profilée en forme d'U. Des évidements sont pratiqués à la surface de cette couronne pour assurer la ventilation. La couronne repose sur des semelles de fonte, solidement scellées dans le béton des voûtes, et les semelles sont reliées, par des entretoises convergentes en forme d'étoiles, à un palier de guidage de l'arbre de la dynamo. L'armature est constituée par des tôles minces séparées par des feuilles de papier et fortement serrées par la couronne circulaire. Les fils induits sont logés dans des trous verticaux pratiqués dans l'armature auprès de sa surface intérieure. Le courant étant triphasé, ces trous sont au nombre de 3 par pôle, c'est-à-dire au nombre total de 150. Ils présentent 5 centimètres de diamètre et contiennent chacun 7 câbles renfermés dans un tube isolant en micanite. Chaque câble est formé de 37 fils de 1<sup>mm</sup>,5 de diamètre, donnant une section totale de 65<sup>mm</sup><sup>2</sup>,5. Ces fils sont tordus ensemble en spirale, pour diminuer l'importance des courants de Foucault. Tous les torons de cet enroulement en tambour, sont réunis en tension pour chacune des phases.

Le rendement des alternateurs, garanti par les constructeurs, était de 95,2 p. 100 pour  $\cos. \varphi = 1$  et 94 p. 100 pour  $\cos. \varphi = 0,74$ ; aux essais il a été trouvé supérieur.

*Excitatrices.* — Les excitatrices peuvent débiter 1.533 ampères au voltage de 120 volts et à la vitesse de 250 tours par minute.

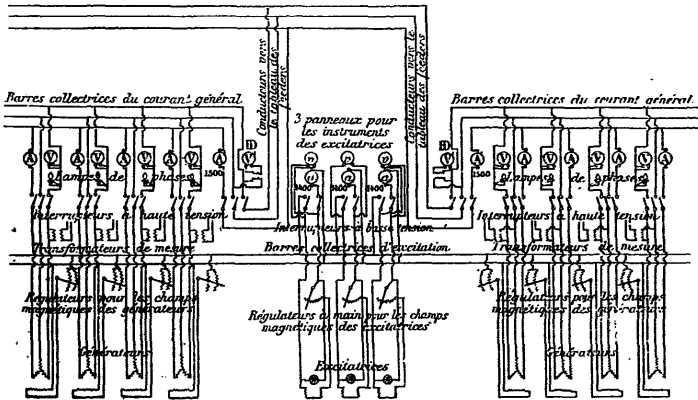
Ce sont des machines tétrapolaires à courant continu, système Brown. Elles sont excitées en dérivation. L'inducteur est formé d'une culasse circulaire en fonte, entourant la machine, et de 4 noyaux inducteurs de 45 centimètres de diamètre terminés par des épanouissements elliptiques. La culasse qui forme bâti de la machine, porte deux paliers de guidage, l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. Les spires sont au nombre de 693 par bobine et les fils présentent un diamètre de 4<sup>mm</sup>,8, soit 5<sup>mm</sup>,1 après guipage.

L'induit est monté sur l'arbre vertical de la turbine qui tourne entre les deux paliers de guidage. Le noyau de l'armature est formé par un anneau cylindrique en fer de 900 millimètres de diamètre intérieur, de 47 centimètres de hauteur et de 24 cm., 5 d'épaisseur, muni de dents et d'encoches à la périphérie. L'enroulement en tambour est formé de deux bobinages en parallèle : les spires sont logées dans les encoches, à raison de deux par encoche, une par bobinage et par encoche. Elles sont séparées par des chevilles de bois et le tout est consolidé par des frettes de fil de cuivre. Les spires sont formées de barres de cuivre de 4<sup>mm</sup>,5  $\times$  16 millimètres présentant, après guipage,

$5^{\text{mm}}, 3 \times 16^{\text{mm}}, 8$ . Elles sont au nombre de 86 par bobinage, ce qui donne pour les deux bobinages,  $86 \times 4 = 344$  fils à la surface du tambour.

Les courants se réunissent en quantité dans deux paires de balais formés de minces feuilles de cuivre et d'étain qui s'appliquent sur le collecteur par la pression d'un ressort. Le calage en est réglé par une vis et un levier à main.

*Tableau central.* — Le courant des alternateurs est conduit au tableau central par des câbles posés dans les caniveaux de l'usine. Au-dessus de ces câbles, les fils d'excitation, posés sur briques, sont conduits du tableau central au circuit inducteur des alternateurs.



(16).

Le tableau central (16) comporte une partie médiane réservée à l'excitation et deux parties latérales réservées aux courants des alternateurs.

Les courants de chaque excitatrice sont recueillis dans des barres collectrices dont ils peuvent être isolés par des interrupteurs à mâchoire. Les courants partiels traversent, chacun un ampèremètre  $a$ ; une dérivation prise sur chacun d'eux, traverse un voltmètre  $v$ . Des courants, dérivés du courant principal, excitent les excitatrices, et des régulateurs à main, placés sous une table devant le tableau et manœuvrés par une manivelle, permettent de régler les champs magnétiques des excitatrices.

Un voltmètre permet de se rendre compte de l'état de ce circuit dérivé.

Les courants des alternateurs sont recueillis dans trois barres collectrices dites *barres omnibus* correspondant aux trois phases.

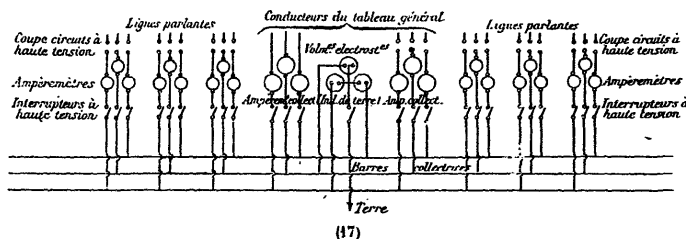
Chaque alternateur peut être isolé par un interrupteur à haute tension.

Un ampèremètre A et un voltmètre V sont branchés, chacun sur une des phases. Des lampes de phases permettent de se rendre compte de la concordance ou de la discordance de phases, au moment où l'on réunit chaque alternateur aux barres omnibus.

Le courant général traverse des appareils totalisateurs de mesure, ampèremètre (A') et voltmètre (V'). De là, il est envoyé, par les barres omnibus, au tableau des feeders placé à l'extrémité de l'usine.

Le courant d'excitation des alternateurs est dérivé sur les barres collectrices d'excitation. Il est réglé par des rhéostats placés sous la table horizontale du tableau; à l'aide d'une résistance placée en dérivation et d'un voltmètre, on juge de l'état de ce circuit.

*Tableau des feeders.* (17) Le courant général provenant du tableau central arrive au tableau des feeders.



Il est reçu dans des barres sur lesquelles se branchent les feeders de la canalisation. Des interrupteurs tripolaires à haute tension, des ampèremètres et des coupe-circuits sont insérés sur chacun des câbles dérivés. Au centre du tableau se trouve un appareil indicateur de terre.

**Canalisation.** — L'énergie est distribuée à la ville de Lyon et aux communes de Villeurbanne, Saint-Fons, Venissieux, Caluire, et Cuire, au moyen d'un réseau primaire et d'un réseau secondaire (pl. LV).

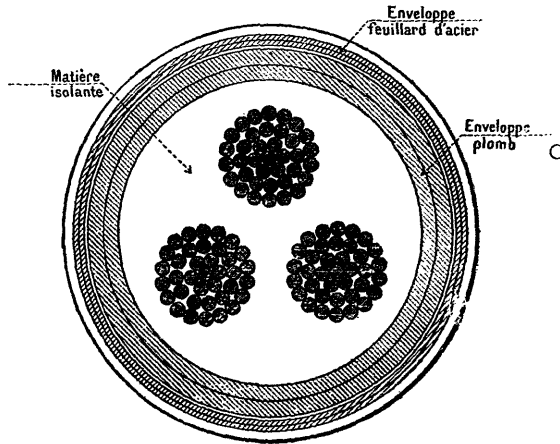
Le réseau primaire à 3.500 volts, est alimenté par des feeders dont le nombre pourra aller jusqu'à 12.

Le courant secondaire résulte d'une transformation à 110 volts. Les transformateurs sont logés dans des kiosques sur la voie publique. Il n'existe en ville aucune station secondaire.

La densité de courant varie de 1 ampère pour les câbles de section supérieure à  $3 \times 100$  millimètres carrés jusqu'à 1 ampère et demi pour les câbles de section inférieure à  $3 \times 100$  millimètres carrés.

Toutes les parties du réseau primaire, sont établies de façon à pouvoir être réunies dans la suite pour ne former qu'un seul réseau. Des interrupteurs, logés dans des kiosques sur la voie publique, permettent de connecter ensemble les différentes parties du réseau en sorte que, si l'un des feeders vient à manquer accidentellement, le réseau primaire, auquel il correspond, peut être alimenté par les feeders voisins.

*Câbles de haute et basse tension* (18). — Le câble employé est le câble dit « armé » construit par la maison Berthoud-Borel, posé dans le sol. Les

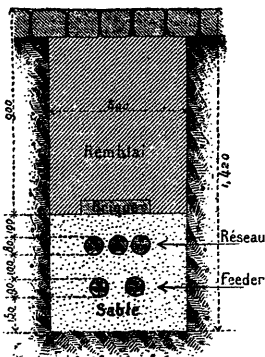


(18)

trois conducteurs du même câble sont isolés au moyen d'une matière résineuse, tordus ensemble et recouverts de deux gaines de plomb formant un premier agent de protection. La couche de plomb est entourée d'un guipage de chanvre, autour duquel s'enroule une double couverture en feuillard d'acier à couvre-joints. Cette enveloppe est elle-même recouverte d'un fort guipage protecteur. Les câbles construits pour la tension de 3.500 volts et pour les sections de 10 millimètres carrés à 300 millimètres carrés, ont un diamètre variant entre 45 millimètres et 90 millimètres. Les câbles construits pour la tension de 110 volts, ont un diamètre un peu plus faible. Les types ne diffèrent que par l'épaisseur de la matière isolante, plus faible pour les câbles du réseau secondaire. Les feeders contiennent, de plus, 3 fils pilotes noyés dans la masse isolante et destinés à ramener à l'usine le voltage du réseau de distribution.

*Pose des câbles.* (19) — La pose des câbles est des plus simples.

Au fond d'une tranchée, on étend une première couche de sable, on pose le câble et on le recouvre d'une seconde couche de sable ; on place des briques dures, on remblaye par dessus et l'on refait le trottoir ou le pavage. Lorsque les feeders et les câbles de haute tension occupent une même tranchée, les feeders sont placés au-dessous des câbles de distribution et ils en sont séparés par une couche de sable supplémentaire de 100 millimètres environ.



(19).

*Transformateurs.* — Les transformateurs en service sont les transformateurs Labour, les transformateurs Alioth et les transformateurs du Creusot.

Ils ramènent la tension de 3.000 à 110 volts et sont essayés à 7.000 volts efficaces entre le primaire et la masse d'une part, et entre le primaire et le secondaire d'autre part.

Le rendement varie de 94 p. 100 pour des transformateurs de 10.000 watts à 96,5 p. 100 pour des transformateurs de 100.000 watts, étant entendu que ces transformateurs débitent leur pleine charge dans des circuits inductifs dont le facteur de puissance est égal à 0,72.

Si les différents modèles de transformateurs en usage ne présentent pas de différence de rendement très grande, par contre, ils présentent des différences notables comme pertes de voltage ; ces différences tiennent aux pertes inductives : or, sur un réseau, comme celui de Jonage, qui distribue simultanément de la lumière et de la force, il est essentiel de n'utiliser que des appareils ayant peu de pertes inductives. Les pertes en volts consenties sont de 4 p. 100 pour les transformateurs de 100.000 watts et de 6 p. 100 pour les transformateurs de 10.000 watts, les transformateurs débitant leur puissance nominale dans des circuits inductifs dont le facteur de puissance est 0,72. L'expérience a montré que les chiffres cités sont un peu faibles pour les transformateurs de 100.000 watts et un peu forts pour les transformateurs de 10.000 watts.

*Calcul de la ligne.* — On a calculé les feeders, les réseaux primaire et secondaire, en supposant les trois sections également chargées. On sait que, dans ces conditions, la perte de tension dans la ligne, pour une puissance et une tension initiales données, est théoriquement indépendante de l'angle de décalage du courant et égale au produit de la résistance R de l'un des

conducteurs par le courant  $I$  correspondant à la puissance  $P$ , sans décalage, multipliée par  $\sqrt{3}$ , mais pratiquement, il faut tenir compte d'autres éléments, tels que le facteur d'impédance de la ligne qui peut arriver dans certains cas à doubler la perte en ligne. En tenant compte de ces éléments et en se donnant la perte de tension consentie d'une extrémité à l'autre de la ligne, on en déduit la valeur de la section des câbles.

**Distribution.** — La distribution est faite en vue de charger également les trois phases.

Pour les forces ordinaires, on établit, sur la voie publique ou chez les particuliers, des transformateurs fixes dont le courant secondaire alimente un groupe d'abonnés tel que des ilots.

Le réseau secondaire à 110 volts est réservé à la petite industrie et à l'éclairage. Au centre même de la ville, l'arrêt et la mise en marche des moteurs n'ont pas d'influence sur la fixité de la lumière, grâce aux moyens de démarrage appliqués aux moteurs.

Les moteurs du réseau secondaire chargent également les trois phases. Quant à l'éclairage dans les installations de faible importance, on a branché les lampes sur une même section et l'on a fait en sorte que les prises de courant de plusieurs installations se fassent équilibre. Dans les installations importantes, on a adopté la disposition en triangle qui détermine des différences de tension moindres que la disposition en étoile.

**Moteurs.** — Les moteurs ordinairement utilisés sont les moteurs triphasés asynchrones. Ils se recommandent par leur simplicité, leur solidité, et ils ont sur les moteurs triphasés synchrones l'avantage de pouvoir démarrer sous charge. Ils se mettent en marche facilement et exigent peu d'entretien. Cependant, quelques moteurs synchrones sont en service dans des installations importantes et donnent satisfaction.

Les principaux moteurs employés sont ceux de la Société Alsacienne de constructions mécaniques de Belfort, les moteurs Brown, les moteurs Alioth, Boucherot, Fabius Henrion, Schukert, Fives-Lille et les moteurs de l'Éclairage électrique.

Tous ces moteurs présentent comme dispositions communes, la denture des noyaux et le bobinage en tambour qui permettent de réduire l'entrefer et la longueur des conducteurs. Ils se différencient surtout par les dispositifs de démarrage. Dans les moteurs Brown on réalise, au démarrage, le groupement des 3 phases en étoile, tandis qu'en ordre de marche les enroulements sont groupés en triangle. Un commutateur à 6 directions permet



de passer facilement de l'une à l'autre de ces dispositions. Les moteurs Alioth démarrent avec des résistances dans l'induit; un mécanisme simple permet de mettre ces résistances hors circuit, quand le moteur a atteint sa vitesse normale. Les moteurs de Belfort sont mis automatiquement en état normal de fonctionnement dès que la vitesse atteint une valeur déterminée.

Les vitesses admises généralement en pratique sont de :

1.500 tours par minute pour les moteurs de  $1/4$  de cheval à 10 chevaux ;

1.000 tours pour les moteurs de 10 à 30 chevaux ;

750 à 600 tours pour les moteurs de puissance supérieure.

Les rendements varient suivant la puissance des moteurs. Ils oscillent entre 60 p. 100 pour les petits moteurs et 90 p. 100 pour les moteurs de grande puissance. Pour un même moteur, la variation n'est pas très grande entre le  $1/3$  de charge et la pleine charge.

*Compteurs.* — Les installations se distinguent en installations d'éclairage de moins de 20 lampes branchées sur un seul pont du courant triphasé, en installations de lumière plus importantes, et en installations de force motrice utilisant les trois conducteurs du réseau.

Les compteurs Thomson à deux fils, le compteur Hummel et le compteur Blathy, sont employés dans les installations de lumière peu importantes, tandis que les compteurs triphasés Thomson et Aron sont utilisés dans les autres installations d'éclairage et dans toutes les installations de force motrice.

---

# **CHAPITRE IV**

**DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT**

## CHAPITRE IV

### DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

La Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône est au capital de 25.000.000 de francs. Elle avait émis au 31 décembre 1901, conformément à ses Statuts, et en vertu de diverses autorisations ministérielles des 23 mai 1896, 13 avril 1898, 29 juillet 1899, 29 janvier 1900 et 24 avril 1901, pour 25.000.000 de francs d'obligations. Le montant de ses ressources financières s'élevait ainsi à 50.000.000 de francs, qui au 31 décembre 1901 avaient reçu l'emploi suivant :

	francs
Terrains. . . . .	3.111.990 77
Canal de dérivation . . . . .	22.129.142 37
Turbines, alternateurs, réseau de canalisations . . . . .	12.992.700 12
Frais de constitution et intérêts du capital pendant la construction . . . . .	6.326.662 95
Matériel, mobilier et outillage. . . . .	325.772 09
Moteurs, compteurs et magasin . . . . .	1.258.805 27
Disponible, avances sur fournitures, etc. . . . .	3.854.926 43
TOTAL ÉGAL. . . . .	50.000.000 »

Les trois premiers chiffres ci-dessus relatifs à la construction, se décomposent de la façon suivante :

#### PRIX DE REVIENT DES EXPROPRIATIONS

	francs
560 hectares. . . . .	3.111.990 77

#### PRIX DE REVIENT DU CANAL PROPREMENT DIT

##### 1° TERRASSEMENTS ET DÉFENSES DES RIVES

<i>Débais et dragages</i> . . . . .	4.381.121 m <sup>3</sup>	4.015.213 fr.	
<i>Corrois des digues</i> . . . . .	1 <sup>er</sup> lot. 128.000	531.650	
(Les terres à corrois provenaient des déblais du canal) . . . . .	2 <sup>e</sup> lot. 215.000		
<i>A reporter</i> . . . . .		4.546.863 fr.	

## CONSTRUCTION DU CANAL DE JONAGE

<i>Reports. . . . .</i>		4.546.863 fr.	
<i>Déblais d'emprunt pour combler les bas-fonds du canal. (Travaux de parachèvement postérieurs aux premiers essais de mise en eau de 1897) . . . . .</i>	97.420 m <sup>2</sup>	106.705	
<i>Défenses des rives, murs de pied des digues, plantations et travaux divers. . . . .</i>	1 <sup>er</sup> lot. »	123.000	
	2 <sup>e</sup> lot. »	285.885	
<i>Travaux en régie . . . . .</i>	1 <sup>er</sup> lot. »	160.000	
	2 <sup>e</sup> lot. »	175.000	
		5.397.453 fr.	5.397.453 fr.

2<sup>e</sup> OUVRAGE DE GARDE

## ANCIEN OUVRAGE DE GARDE

<i>Fouilles :</i>			
Déblais . . . . .	10.788 m <sup>3</sup>	9.745 fr.	
<i>Fondations :</i>			
Béton de chaux hydraulique. . . . .	6.984	96.060	
<i>Élévation :</i>			
Béton de chaux hydraulique . . . . .	615	6.150	
Béton de ciment. . . . .	453	3.933	
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique. . . . .	3.748	68.245	
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de ciment . . . . .	2.290	57.954	
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de chaux hydraulique . . . . .	975	25.590	
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de ciment . . . . .	720	21.087	
Maçonnerie de pierre de taille et de moellons piqués . . . . .	38	2.100	
<i>Vannes de prise d'eau :</i>			
Vannes proprement dites. . . . .	54.288 kg.	32.000	
Sièges et guidages des vannes. . . . .	88.034	50.000	
14 appareils de manœuvre à bras. . . . .	24.200 kg.	15.000	
8 — — hydraulique. . . . .	45.300	28.000	
Turbine, pompe, réservoir et tuyauterie de la manœuvre hydraulique. . . . .	12.000	10.000	
Renforcement, modifications apportées aux vannes de prise d'eau. . . . .	»	39.700	
Appareils indicateurs de niveau d'eau. . . . .	»	2.180	
<i>Murs et perrés de raccordement de l'ouvrage avec ses abords . . . . .</i>	»	53.610	
<i>Travaux de protection aux abords de l'ouvrage de garde.</i>			
Bétonnage et asphaltage du plafond :			
Déblais . . . . .	9.905 m <sup>3</sup>	8.170	
Béton de chaux hydraulique . . . . .	10.490	144.900	
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique . . . . .	294	5.340	
Asphalte naturel . . . . .	4.579 m <sup>2</sup>	14.631	
<i>A reporter. . . . .</i>		691.305 fr.	5.397.453 fr.

# DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

167

<i>Reports. . . .</i>		691.305 fr.	5.397.453 fr.
Asphalte artificiel. . . . .	4.252 m <sup>2</sup>	9.355	
Coaltar. . . . .	23.627	6.963	
<i>Mur garde-radier :</i>			
Fouilles et béton de chaux hydraulique à l'air comprimé par caissons perdus. . .	4.218 m <sup>2</sup>	283.000	
Allongement des arrière-becs des piles et modifications diverses aux anciennes maçonneries. . . . .	»	79.000	
<i>Consolidation provisoire de l'ancien ouvrage.</i>	»	25.000	
<i>Démolition de l'ancien ouvrage. . . . .</i>	»	60.000	
<i>Travaux divers. . . . .</i>	»	213.672	
<i>Travaux en régie. . . . .</i>	»	325.000	
		1.693.295 fr.	1.693.295 fr.

## NOUVEL OUVRAGE DE GARDE

<i>Nouveaux travaux de protection :</i>			
Mur de retenue. . . . .	»	74.000 fr.	Approximatif.
Massif de béton à l'aval du mur de retenue et conduites ménagées dans ce massif. .	»	102.000	»
Massif de béton le long de l'écluse. . . .	»	20.000	»
Enrochements, dallages ou réfection de l'ancien radier à l'aval des conduites. .	»	30.000	»
6 vannes y compris appareils de manœuvre.	»	80.000	»
Prolongement de l'ancien mur garde-radier. . . . .	»	100.000	»
Travaux en régie et imprévus. . . . .	»	24.000	»
<i>Nouveau barrage.</i>			
<i>Fondations :</i>			
Nouveau garde-radier et caissons transversaux entre le nouveau et l'ancien garde-radier. . . . .	»	310.000	»
Radier. . . . .	»	50.000	»
<i>Élévation :</i>			
Piles, culées et voûtes. . . . .	»	220.000	»
Poutres fixes au-dessus des vannes reliant les piles et culées. . . . .	»	50.000	Approximatif.
Murs et perrés de raccordement de l'ouvrage avec ses abords. . . . .	»	30.000	»
Vannes et appareils de manœuvre. . . .	»	243.000	»
Travaux en régie et imprévus. . . . .	»	317.000	»
		1.650.000 fr.	1.650.000 fr.

## 3<sup>e</sup> ÉCLUSE DE GARDE

<i>Fouilles :</i>			
Déblais. . . . .	17.750 m <sup>3</sup>	15.989 fr.	
<i>Fondations :</i>			
Béton de chaux hydraulique. . . . .	17.774	244.387	
<i>A reporter. . . .</i>		260.376 fr.	8.740.748 fr.

## CONSTRUCTION DU CANAL DE JONAGE

<i>Reports . . . . .</i>		260.376 fr.	8.740.748 fr.	
<i>Élévation :</i>				
Béton de chaux hydraulique. . . . .	1.822 m <sup>3</sup>	18.220 fr.		
Béton de ciment . . . . .	185	5.120		
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique. . . . .	8.345	151.890		
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de ciment . . . . .	1.368	34.810		
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de chaux hydraulique. . . . .	1.444	37.800		
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de ciment . . . . .	343	10.000		
Maçonnerie de pierre de taille. . . . .	225	15.800		
<i>Portes :</i>				
Vantaux . . . . .	176.655 kg.	106.707		Prix de revient d'une porte. (56.453 fr.)
Appareils de manœuvre. . . . .		6.200		
<i>Vannes de vidange et de remplissage :</i>				
Vannes proprement dites . . . . .	16.077	10.698		Prix de revient d'une vanne. (1.340 fr.)
Appareils de manœuvre. . . . .	3.735			
<i>Murs et perrés de raccordement de l'écluse de garde avec ses abords . . . . .</i>	»	37.970		
<i>Travaux divers . . . . .</i>	»	176.550		
<i>Travaux en régie . . . . .</i>	»	238.800		
		1.110.941 fr.	1.110.941 fr.	

## 4° DÉVERSOIR

<i>Fouilles :</i>				
Déblais. . . . .	3.295 m <sup>3</sup>	4.520 fr.		
Épuisements, pilotis, boisages. . . . .	»	10.807		
<i>Fondations :</i>				
Béton de chaux hydraulique. . . . .	1.880	20.900		
<i>Élévation :</i>				
Béton de chaux hydraulique. . . . .	1.030	9.600		
Béton de ciment . . . . .	605	13.965		
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique. . . . .	1.306	23.770		
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de chaux hydraulique . . . . .	349	9.126		
Maçonnerie de pierres sèches . . . . .	125 m <sup>3</sup>	1.900		
Enrochements . . . . .	1.480	20.000		
<i>Travaux divers . . . . .</i>	»	48.279		
<i>Travaux en régie . . . . .</i>	»	45.000		
		207.867 fr.	207.867 fr.	

## 5° USINE-BARRAGE

<i>Fouilles :</i>				
Déblais. . . . .	50.757 m <sup>3</sup>	44.971 fr.		
<i>Fondations :</i>				
Béton de chaux hydraulique coulé à l'air comprimé par cloches mobiles . . . . .	11.200	457.000		
<i>A reporter. . . . .</i>		501.971 fr.	10.059.556 fr.	

# DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

169

<i>Reports. . . . .</i>		501.971 fr.	10.059.556 fr.
Béton de chaux hydraulique coulé à l'air libre. . . . .	5.890 m³	65.000 fr.	
<i>Élévation :</i>			
Béton de chaux hydraulique. . . . .	7.100	75.600	
Béton de ciment . . . . .	3.180	75.900	
Maçonnerie de moellons } air comprimé.	2.700	130.000	
bruts avec mortier de } air libre.	20.400	362.200	
chaux hydraulique. . . . .			
Maçonnerie de moellons } air comprimé.	1.290	59.000	
bruts avec mortier de } air libre.	3.005	98.300	
ciment . . . . .			
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de chaux hydraulique. . . . .	660	20.183	
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de ciment . . . . .	580	22.145	
Maçonnerie de pierre de taille artificielle. . . . .	1.710	72.000	
Maçonnerie de pierre de taille naturelle. . . . .	61	6.100	
Charpentes métalliques et fers pour planchers . . . . .	350.220 kg.	169.100	
Couverture en tuiles et voligeage pour toiture . . . . .	2.900 m²	17.000	
Carrelage. . . . .	»	14.200	
Revêtement en céramo-cristal . . . . .	»	8.355	
Enduits . . . . .	20.823	63.611	
<i>Bâtiments annexes :</i>			
Maison d'habitation, ateliers, magasins, remise, écurie, etc. . . . .	»	84.000	
<i>Murs et perrés de raccordement de l'usine avec ses abords . . . . .</i>	»	101.635	
<i>Travaux de protection aux abords de l'usine :</i>			
<i>Bétonnage et asphallage du plafond du canal :</i>			
Déblais et reprises de déblais . . . . .	30.968 m³	19.500	
Béton de chaux hydraulique. . . . .	15.035	155.851	
Asphalte naturel . . . . .	8.222 m²	27.251	
Coaltar. . . . .	58.955	17.713	
<i>Réfection et consolidation du bétonnage et de l'asphallage du plafond du canal en amont de l'usine :</i>			
Démolition de béton . . . . .	285 m³	342	
Déblais et reprises de déblais . . . . .	111.544	157.853	
Béton de chaux hydraulique. . . . .	17.498	218.209	
Enduits de chaux hydraulique. . . . .	86.830 m²	82.650	
Asphalte naturel . . . . .	6.338	13.639	
Coaltar. . . . .	80.727	29.061	
<i>A reporter. . . . .</i>		2.668.369 fr.	10.059.556 fr.

<i>Reports.</i> . . .		2.668.369 fr.	10.059.556 fr.
<i>Mur garde-radier à l'aval de l'usine :</i>			
Dragages. . . . .	6.63½ m³	6.634	
Béton de chaux hydraulique coulé à l'air comprimé par caissons perdus. . . . .	9.763	596.537	
Béton de chaux hydraulique coulé à l'air comprimé par cloches mobiles. . . . .	2.768	138.010	
Béton de chaux hydraulique ordinaire coulé à la trémie. . . . .	2.976	41.660	
Enrochements. . . . .	345	3.000	
<i>Travaux divers.</i> . . . .	"	323.825	
<i>Travaux en régie.</i> . . . .	"	467.890	
		4.245.925 fr.	4.245.925 fr.

## 6° ÉCLUSE DOUBLE

<i>Fouilles :</i>			
Déblais. . . . .	97.553 m³	86.822 fr.	
<i>Fondations :</i>			
Béton de chaux hydraulique. . . . .	43.419	489.860	
Béton de ciment. . . . .	1.146	28.822	
<i>Élévation :</i>			
Béton de chaux hydraulique. . . . .	6.087	63.274	
Béton de ciment. . . . .	656	16.498	
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique. . . . .	16.450	329.000	
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de ciment. . . . .	2.890	78.030	
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de chaux hydraulique. . . . .	2.835	86.695	
Maçonnerie de moellons têtus avec mortier de ciment. . . . .	570	21.763	
Maçonnerie de pierre de taille naturelle. . . . .	233	24.180	
Maçonnerie de pierre de taille artificielle. . . . .	271	10.075	
Enduits. . . . .	6.730 m²	22.000	
<i>Portes.</i>			
<i>Portes amont et intermédiaire :</i>			
Vantaux. . . . .	215.945 kg.	130.608	Prix de revient d'une porte à deux vantaux (amont ou intermédiaire). (68.400 fr.)
Appareils de manœuvre. . . . .	"	6.200	
<i>Porte aval :</i>			
Vantaux. . . . .	83.481	50.609	Prix de revient d'une porte à deux vantaux (aval). (53.709 fr.)
Appareils de manœuvre. . . . .	"	3.100	
<i>Vannes de vidange et de remplissage :</i>			
Vannes proprement dites. . . . .	24.292	13.760	Prix de revient d'une vanne et de ses appareils de manœuvre. (1.400 fr.)
Appareils de manœuvre. . . . .	"	3.150	
<i>Murs et perrés de raccordement de l'écluse avec ses abords.</i> . . . .	"	49.550	
<i>Travaux divers.</i> . . . .	"	237.274	
<i>Travaux en régie.</i> . . . .	"	390.000	
		2.441.270 fr.	2.141.270 fr.
<i>A reporter.</i> . . .			16.446.751 fr.



## 7° PONTS MÉTALLIQUES

	PONT de Jonage.			PONT de Meyzieu.			PONT de l'Herbens.			PONT de Décines.			PONT de la Sucrierie.			PONT de Cusset.			PONT de Vaulx.		
	Cubes. Surfaces. Poids.	Dépenses.		Cubes. Surfaces. Poids.	Dépenses.		Cubes. Surfaces. Poids.	Dépenses.		Cubes. Surfaces. Poids.	Dépenses.		Cubes. Surfaces. Poids.	Dépenses.		Cubes. Surfaces. Poids.	Dépenses.		Cubes. Surfaces. Poids.	Dépenses.	
<i>Fouilles :</i>	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	m <sup>3</sup>	fr.	
Déblais ou dragages . . . . .	3.100	2.950	2.800	2.700	2.750	2.590	3.143	2.924	3.127	2.715	10.902	9.703	12.198	10.898							
<i>Fondations :</i>																					
Béton de chaux hydraulique . . . . .	1.150	15.985	930	12.800	903	12.460	2.125	35.660	997	10.390	4.319	48.858	3.167	35.835							
Plus-value pour fondations à l'intérieur de caissons (y compris fourniture de caissons) . . . . .	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14.000	"	14.000							
<i>Élévation :</i>																					
Béton de chaux hydraulique . . . . .	1.350	15.500	1.400	14.000	1.290	12.900	970	11.160	2.137	26.115	174	1.674	167	1.596							
Béton de ciment . . . . .	65	1.200	53	1.100	51	1.200	107	2.842	106	2.667	"	"	"	"							
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de chaux hydraulique . . . . .	1.400	23.480	1.020	18.600	975	17.743	2.696	57.020	4.181	88.428	1.054	21.870	1.093	23.117							
Maçonnerie de moellons bruts avec mortier de ciment . . . . .	15	337	8	180	8	180	"	"	25	112	12	393	21	551							
Maçonnerie de moellons légués avec mortier de chaux hydraulique . . . . .	180	4.680	142	3.700	131	3.410	824	25.200	1.137	34.770	278	8.501	282	8.625							
Maçonnerie de moellons légués avec mortier de ciment . . . . .	11	330	5	150	5	150	"	"	"	"	"	"	"	"							
Maçonnerie de pierre de taille naturelle . . . . .	25	1.800	20	1.450	17	1.233	32	3.636	32	3.680	24	2.074	25	2.114							
Maçonnerie de pierre de taille artificielle . . . . .	73	2.467	63	2.200	61	2.062	91	3.368	106	3.943	153	4.705	153	4.887							
<i>Tabliers métalliques :</i>	kg.		kg.		kg.		kg.		kg.		kg.		kg.		kg.		kg.		kg.		
Acier, fonte et plomb . . . . .	94.914	32.176	94.802	32.138	91.522	32.043	245.637	83.512	251.304	55.192	176.420	50.985	183.364	65.343							
<i>Travaux divers en régie et accessoires :</i>	"	19.500	"	13.350	"	10.300	"	15.500	"	19.150	"	21.200	"	24.050							
Totaux . . . . .		122.505		102.368		96.273		230.826		377.692		192.973		191.016							
1.213.653 fr.																					

Report . . . . .	16.446.751 fr.
Ponts métalliques . . . . .	1.213.653 fr.
A reporter . . . . .	17.660.404 fr.

Report. . . .	17.660.404 fr.
---------------	----------------

## 8° OUVRAGES SECONDAIRES

<i>Aqueduc-siphon.</i>			
Déblais. . . . .	1.540 m <sup>3</sup>	4.370 fr.	
Fers (y compris immersion). . . . .	27.930 kg.	15.925	
Béton de chaux hydraulique coulé à la trémie. . . . .	549 m <sup>3</sup>	5.855	
Béton de ciment . . . . .	47	930	
Travaux divers. . . . .	»	1.500	
Travaux en régie. . . . .	»	3.250	
<i>Maisons éclusières :</i>			
Maison écluse de Jonage . . . . .	à forfait	20.464	
Maison écluse de Cusset. . . . .	—	26.600	
<i>Pont déversoir de 12 m :</i>			
Maçonnerie. . . . .	»	19.608	
Tablier en béton armé. . . . .	à forfait	4.200	
<i>Ponceaux, aqueducs, buses et murs de soulèvement.</i>			
» . . . . .	»	87.400	
Ouvrages provisoires pour la mise en eau . . . . .	»	244.696	
<i>Déplacement et élargissement du fossé latéral au canal.</i>			
Déblais. . . . .	»	260.000	Approximatif
Ponceaux, aqueducs et buses . . . . .	»	30.000	
		721.798 fr.	721.798 fr.

## 9° VANNES DE PRISE D'EAU, PONT ROULANT DE L'USINE

16 vannes cylindriques de prise d'eau, de 3 mètres de diamètre, y compris les treuils de manœuvre et accessoires. . . . .	111.188 fr.	
3 vannes cylindriques de prise d'eau, de 2 mètres de diamètre, y compris les treuils de manœuvre et accessoires. . . . .	13.400	
Pont roulant, y compris treuil roulant. . . . .	36.042	
	160.630 fr.	160.630 fr.
TOTAL. . . . .		18.542.832 fr.
Règlements de comptes des travaux, fondations des six dernières turbines, modifications apportées aux premières turbines et aux vannes de l'usine, travaux divers et de parachèvement, frais généraux et de personnel pendant les études et la construction (de novembre 1892 à janvier 1902), etc., etc. . . . .		
		3.586.310 fr.
Montant général des dépenses du Canal. . . . .		22.129.142 fr.

## PRIX DE REVIENT DES TURBINES, ALTERNATEURS, RÉSEAU DE CANALISATION

<i>1° Turbines.</i>		
16 turbines de 1.250 à 1.500 chevaux effectifs, y compris régulateurs, pompes à huile et accessoires. . . . .	1.002.370 fr.	
3 turbines de 250 chevaux, y compris régulateurs, pompes à huile et accessoires. . . . .	68.100	
	1.070.470 fr.	1.070.470 fr.
<i>2° Alternateurs.</i>		
16 alternateurs triphasés de 1.250 à 1.500 chevaux . . .	876.000	
3 excitatrices de 250 chevaux . . . . .	63.000	
Tableau central, tableau des feeders, câbles isolés et conducteurs nus. . . . .	95.000	
	1.034.000 fr.	1.034.000 fr.
<i>3° Réseau de canalisation.</i>		
An 31 décembre 1901, la canalisation comportait 387 kilomètres de fils triples, soit 1.161 kilomètres de fils simples, et elle avait coûté . . . . .	10.888.230 fr.	10.888.230 fr.
y compris tranchées, fourniture et pose de câbles, transformateurs, kiosques, colonnes montantes, branchements d'abonnés.		
<b>Montant total des turbines, alternateurs, réseau de canalisations . . . . .</b>	<b>12.992.700 fr.</b>	<b>12.992.700 fr.</b>

FIN

C'est un devoir pour nous, en terminant cet ouvrage, d'adresser ici un hommage de reconnaissance à notre ancien chef, M. GOTTELAND, qui a dirigé les travaux considérables dont nous avons parlé. Le caractère et l'importance de cette œuvre se dégagent trop nettement de l'exposé des faits pour que nous ayons à les faire ressortir. Ajoutons seulement que, quand M. GOTTELAND nous a demandé de lui succéder, c'est en nous inspirant de son enseignement que nous avons réussi à mener à bonne fin les travaux dont nous avons été chargé.

Nous ne saurions, non plus, terminer sans adresser nos remerciements à nos collaborateurs qui nous ont apporté le concours le plus utile et le plus dévoué. Nous remercions, en particulier, M. Vérot qui a relevé les plans d'installation des chantiers et dessiné les planches de l'atlas de cet ouvrage.

RENÉ CHAUVIN.

# ANNEXES

# TARIFS

DE LA

## SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES

DU RHONE

### TARIF DE VENTE

#### DE LA FORCE MOTRICE AU COMPTEUR D'ÉNERGIE

FORCE en chevaux.	PRIX du kilowatt-heure.	PRIX du cheval-heure correspondant.	FORCE en chevaux.	PRIX du kilowatt-heure.	PRIX du cheval-heure correspondant.
	<i>centimes</i>	<i>centimes</i>		<i>centimes</i>	<i>centimes</i>
1	28	20,61	26	13	9,57
2	27	19,87	27	12,8	9,42
3	26	19,13	28	12,7	9,35
4	25	18,40	29	12,6	9,27
5	24,1	17,74	30	12,5	9,20
6	23,2	17,07	31	12,4	9,13
7	22,5	16,56	32	12,2	8,98
8	21,8	16,04	33	12	8,83
9	21	15,45	34	11,8	8,68
10	20,4	15,01	35	11,7	8,61
11	19,7	14,50	36	11,6	8,53
12	19	13,98	37	11,4	8,38
13	18,3	13,47	38	11,3	8,32
14	17,6	12,95	39	11,1	8,17
15	17	12,51	40	10,9	8,02
16	16,5	12,14	41	10,8	7,95
17	16	11,78	42	10,7	7,88
18	15,5	11,41	43	10,6	7,80
19	15	11,04	44	10,4	7,65
20	14,6	10,74	45	10,2	7,51
21	14,3	10,52	46	10,0	7,36
22	14	10,30	47	9,8	7,21
23	13,7	10,08	48	9,7	7,14
24	13,5	9,94	49	9,6	7,07
25	13,2	9,72	50	9,5	6,99

**TARIF DE VENTE DE LA FORCE MOTRICE A FORFAIT ET A L'ANNÉE  
POUR 12 HEURES**

FORCE en chevaux.	PRIX du cheval annuel correspondant.	FORCE en chevaux.	PRIX du cheval annuel correspondant.	FORCE en chevaux.	PRIX du cheval annuel correspondant.
Pardixième de cheval pour un moteur de moins de 1 cheval.	francs.		francs.		francs.
1	72	17	405	34	288
2	720	18	390	35	285
3	695	19	375	36	282
4	670	20	360	37	279
5	645	21	354	38	276
6	620	22	348	39	273
7	598	23	342	40	270
8	576	24	336	41	268
9	554	25	330	42	266
10	532	26	324	43	264
11	510	27	318	44	262
12	495	28	312	45	260
13	480	29	306	46	258
14	465	30	300	47	256
15	450	31	297	48	254
16	435	32	294	49	252
	420	33	291	50 et au-dessus.	250

Tarif pour 24 heures, 50 p. 100 en plus.

**TARIF DE VENTE DE LA LUMIÈRE AU COMPTEUR D'ÉNERGIE**

TARIFS AU COMPTEUR D'ÉNERGIE	Prix de l'hectowatt-heure. centimes.
1° Administrations . . . . .	5
2° Locaux de force motrice . . . . .	5
3° Cafés-Restaurants . . . . .	6
4° Magasins et bureaux . . . . .	6,5
5° Appartements . . . . .	8

*Réductions sur les tarifs précédents, 3, 4 et 5.*

Pour une consommation de 400 fr. par mois. . . . .	1	p. 100 de réduction.
— — — — — 250 — — . . . . .	2,5	— —
— — — — — 500 — — . . . . .	5	— —
— — — — — 1.000 — — . . . . .	7,5	— —
— — — — — 1.500 — — . . . . .	10	— —

## TARIF DE LOCATION DES MOTEURS ET COMPTEURS

LOCATION DE MOTEURS		LOCATION DE COMPTEURS			
PUISSANCE en chevaux.	PRIX de location par mois.	FORCE MOTRICE		LUMIÈRE	
		PUISSANCE en chevaux.	PRIX de location par mois	NOMBRE de lampes.	PRIX de location par mois.
	francs.		francs.		francs.
1/4	3,50	1/4	2 »	1 à 6	1 »
1/4 (métier)	4,50	1/4 (métier)	2 »	7 à 10	1,50
1/3	4,50	1/3	2 »	11 à 20	1,75
1/2	5 »	1/2	2 »	21 à 50	2,50
3/4	6 »	3/4	2,50	51 à 100	3 »
1	8 »	1	2,50	101 à 200	4,50
2	10 »	2	3 »	201 à 350	5 »
3	15 »	3	3 »	351 à 500	6 »
5	20 »	5	3,50	501 à 700	7 »
10	30 »	10	3,50		
15	45 »	15	4 »		
20	55 »	20	4,50		
30	65 »	30	5 »		
45	80 »	45	5,75		
		100	7,50		

TABLEAUX DES DIVERSES INDUSTRIES UTILISANT LE COURANT DE JONAGE AVEC DES MOTEURS  
VARIANT DE 1/4 DE CHEVAL A 500 CHEVAUX

Au 30 avril 1902.

PROFESSIONS	NOMBRE d'abonnés.	PROFESSIONS	NOMBRE d'abonnés.
Appareils électriques. . . . .	17	<i>Report. . . . .</i>	212
Appareils à gaz . . . . .	7	Corroyeurs . . . . .	9
Apprêteurs . . . . .	35	Chaussures (fab. de) . . . . .	9
Automobiles (fab. d') . . . . .	7	Chemiseries, Machines à coudre. . . . .	23
Abat-jour (fab. d') . . . . .	1	Cuivrieres. . . . .	3
Ascenseurs . . . . .	3	Carton (fab. de) . . . . .	14
Alimentation (magasins d') . . . . .	10	Corsets (fab. de) . . . . .	14
Bouchons (fab. de) . . . . .	1	Chasse (armes de) . . . . .	3
Bains . . . . .	8	Courroies et Caoutchouc. . . . .	8
Bâches (fab. de) . . . . .	3	Chocolat (fab. de) . . . . .	10
Boulons (fab. de) . . . . .	2	Chenilleurs . . . . .	9
Bicyclettes (fab. de) . . . . .	9	Couronnes (fab. de) . . . . .	2
Biscuits (fab. de) . . . . .	2	Chaudronnier . . . . .	6
Boulangers . . . . .	5	Chapeaux (fab. de) . . . . .	5
Brasseries. . . . .	2	Cafetiers . . . . .	5
Brodeurs . . . . .	20	Céramiques. . . . .	2
Brosses (fab. de) . . . . .	2	Dévideurs. . . . .	13
Blanchisseries. . . . .	4	Dégraisseurs . . . . .	1
Charpentiers . . . . .	6	Décolteurs . . . . .	4
Câbles (fab. de) . . . . .	1	Découpeurs d'étoffes. . . . .	3
Couteliers-aiguiseurs. . . . .	25	Découpeurs sur bois et sur métaux . . . . .	3
Charcutiers . . . . .	23	Dentelles (fab. de) . . . . .	1
Chauffage. . . . .	3	Doreurs-Argentiers . . . . .	10
Caisses (fab. de) . . . . .	7	Ebénistes-Menuisiers. . . . .	48
<i>A reporter. . . . .</i>	212	<i>A reporter. . . . .</i>	417



PROFESSIONS	NOMBRE d'abonnés.	PROFESSIONS	NOMBRE d'abonnés.
<i>Report.</i> . . . . .	417	<i>Report</i> . . . . .	982
Entrepôts . . . . .	6	Nickeleurs . . . . .	6
Essieux (fab. d') . . . . .	2	Ourleurs . . . . .	2
Entrepreneurs . . . . .	12	Outils . . . . .	9
Emailleurs . . . . .	1	Orthopédie et chirurgie (fab. d'appareils de) . . . . .	6
Enseignement public . . . . .	5	Passementiers . . . . .	125
Epingliers . . . . .	5	Produits chimiques, pharmaceutiques et photographiques . . . . .	35
Fondeurs . . . . .	33	Polisseurs . . . . .	6
Forgerons et Charbons . . . . .	8	Perceurs pour fabrique . . . . .	1
Fournitures (march. de) . . . . .	1	Paille de fer (fab. de) . . . . .	2
Grainetiers . . . . .	3	Pâtes alimentaires (fab. de) . . . . .	2
Graveurs sur cuivre . . . . .	7	Pressoirs (fab. de) . . . . .	3
Guimpiers . . . . .	117	Plage (ateliers de) . . . . .	7
Gainiers . . . . .	1	Parapluies (fab. de) . . . . .	11
Grilleurs d'étoffes . . . . .	3	Papeteries . . . . .	13
Glacières (appareils frigorifiques) . . . . .	4	Pâtisseries-Confiseurs . . . . .	7
Grillages en fer (fab. de) . . . . .	4	Publicité-Journaux . . . . .	5
Hôpitaux . . . . .	4	Photogravure (ateliers de) . . . . .	1
Huiles, Savons, Suifs (fab. de) . . . . .	8	Pompes d'arrosage . . . . .	6
Imprimeurs . . . . .	52	Pileries . . . . .	1
Instruments de musique . . . . .	2	Quincailliers . . . . .	7
Imprimeurs sur étoffes . . . . .	3	Repousseurs sur métaux . . . . .	9
Joailliers et Orfèvres . . . . .	11	Radiographie et Electrothérapie . . . . .	1
Lits en fer (fab. de) . . . . .	3	Raseurs d'étoffes . . . . .	2
Liseurs de dessins . . . . .	11	Remises (fab. de) . . . . .	4
Limonade, Eaux gazeuses, Liqueurs . . . . .	23	Régisseurs . . . . .	2
Lacets (fab. de) . . . . .	1	Serruriers . . . . .	19
Lavours . . . . .	1	Scieries mécaniques . . . . .	15
Monte-charge . . . . .	7	Soieries et velours (fab. de) . . . . .	40
Mécaniciens divers . . . . .	129	Taillandiers . . . . .	3
Métiers (fab. de) . . . . .	3	Tisseurs . . . . .	207
Minoteries . . . . .	3	Tullistes . . . . .	211
Mouliniers . . . . .	43	Tourneurs sur bois et sur métaux . . . . .	58
Modelleurs . . . . .	14	Toupilleurs . . . . .	2
Mastic (fab. de) . . . . .	2	Tréfileurs . . . . .	16
Mouleurs et marbriers . . . . .	5	Teinturiers . . . . .	20
Miroitiers . . . . .	2	Tôlerie, Ferblanterie, Plomberie . . . . .	11
Manomètres (fab. de) . . . . .	2	Tanneur . . . . .	1
Matériel industriel et agricole (fab. de) . . . . .	17	Verriers . . . . .	6
Mégissiers . . . . .	4	Vêtements et Confections . . . . .	18
Navettes (fab. de) . . . . .	3	Vins en gros . . . . .	16
<i>A reporter.</i> . . . . .	982	<i>TOTAL.</i> . . . . .	1.898

## RÉSUMÉ DES ABONNEMENTS A LA FORCE MOTRICE

(en fonctionnement)

	NOMBRE d'abonnés.	NOMBRE de chevaux.
Au 15 juin 1899 . . . . .	503	2.465
Au 30 avril 1900 . . . . .	1.007	6.920
Au 30 avril 1901 . . . . .	1.457	8.405
Au 30 avril 1902 . . . . .	1.898	10.114

**RÉSUMÉ DES ABONNEMENTS A LA LUMIÈRE**  
(en fonctionnement)

	NOMBRE d'abonnés.	NOMBRE de lampes de 10 bougies.
Au 15 juin 1899 . . . . .	838	36.266
Au 30 avril 1900. . . . .	2.245	85.816
Au 30 avril 1901. . . . .	3.585	118.967
Au 30 avril 1902 . . . . .	4.987	149.211

**PRODUCTION D'ÉNERGIE DE L'USINE DE CUSSET DU 1<sup>er</sup> JANVIER 1899 AU 30 AVRIL 1902**  
(Mesurée au tableau de l'usine.)

DÉSIGNATION DES MOIS	ANNÉE 1899	ANNÉE 1900	ANNÉE 1901	ANNÉE 1902
	hectowatts-heure	hectowatts-heure	hectowatts-heure	hectowatts-heure
Janvier. . . . .	1.416.000	5.560.030	43.020.490	16.253.480
Février. . . . .	1.258.560	5.380.030	42.048.680	15.151.040
Mars . . . . .	1.607.280	6.774.090	43.402.290	15.958.620
Avril . . . . .	1.695.840	6.799.930	42.214.490	15.348.020
Mai . . . . .	1.852.560	7.517.840	42.978.970	
Juin . . . . .	2.036.400	7.118.080	42.472.080	
Juillet . . . . .	2.326.320	7.263.070	42.703.770	
Août . . . . .	2.579.520	7.951.850	42.656.220	
Septembre . . . . .	2.758.080	8.421.010	42.857.460	
Octobre . . . . .	3.508.560	10.160.840	45.564.630	
Novembre . . . . .	4.167.840	11.025.540	45.563.560	
Décembre . . . . .	5.023.920	11.979.890	46.863.360	
Année entière. . . . .	30.230.880	95.932.200	162.346.000	

**RECETTES DE LA SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE**  
**DU 1<sup>er</sup> JANVIER 1899 AU 30 AVRIL 1902**

DÉSIGNATION DES MOIS	ANNÉE 1899	ANNÉE 1900	ANNÉE 1901	ANNÉE 1902
Janvier. . . . .	27.482 <sup>f</sup> ,20	117.792 <sup>f</sup> ,80	208.507 <sup>f</sup> ,85	257.715 <sup>f</sup> ,75
Février. . . . .	25.915,30	105.932,55	177.366,55	210.774,30
Mars . . . . .	30.168,55	118.052,20	189.236,85	210.195,30
Avril . . . . .	29.179,80	100.943,90	161.594,35	189.055,25
Mai . . . . .	32.140,20	100.046,30	153.235,35	
Juin . . . . .	34.708,90	94.153,55	150.627,75	
Juillet . . . . .	35.990,70	94.041,75	150.523,25	
Août . . . . .	43.318 »	105.622,15	162.002,40	
Septembre . . . . .	54.266 »	128.100,30	180.678,40	
Octobre . . . . .	76.049 »	161.385,20	228.914,75	
Novembre . . . . .	93.220,65	193.224,80	251.851,40	
Décembre . . . . .	112.401,65	212.172,25	263.223,40	
Année entière . . . . .	594.840 <sup>f</sup> ,95	1.531.467 <sup>f</sup> ,75	2.277.762 <sup>f</sup> ,30	

# TABLE DES MATIÈRES

(TEXTE)

	Pages.
Introduction. . . . .	1

## CHAPITRE PREMIER

### CONSTRUCTION DU CANAL PROPREMENT DIT

#### § 1. — DÉRIVATION PROPREMENT DITE

Conditions d'établissement. Tracé . . . . .	7
Profil en long . . . . .	7
Profils en travers . . . . .	8
Pertes de charge dans la longueur du canal. . . . .	8
Exécution des terrassements . . . . .	10
Etanchement des digues. Corrois . . . . .	13
Piétineuse. . . . .	15
Défenses des digues. Musoir d'entrée. . . . .	17
Plantations. Clayonnages. . . . .	18
Défense Villa . . . . .	18
Essai de mise en eau et mise en eau définitive du canal. . . . .	19
Modifications apportées à la hauteur de la digue entre l'origine du canal et l'ouvrage de garde . . . . .	20

#### § 2. — OUVRAGE DE GARDE ET DE PRISE D'EAU

##### ANCIEN OUVRAGE DE GARDE

Dispositions générales . . . . .	22
Conditions de résistance. . . . .	23
Nature des maçonneries . . . . .	23
Vannes . . . . .	23
Manœuvre des vannes . . . . .	24
Manœuvre à bras . . . . .	24
Manœuvre hydraulique . . . . .	24
Bâtiment pour le logement des appareils hydrauliques. . . . .	27
Raccordements de l'ouvrage de garde avec ses abords . . . . .	27

Travaux de protection aux abords de l'ouvrage de garde . . . . .	28
Bétonnage . . . . .	28
Mur garde-radier . . . . .	29
Accident survenu le 28 avril 1899. Consolidation provisoire de l'ouvrage de garde . . . . .	29

## NOUVEL OUVRAGE DE GARDE

## NOUVEAUX TRAVAUX DE PROTECTION

Mur de retenue et massif de béton . . . . .	31
Conduites . . . . .	32
Remblai adossé au mur au-dessus des conduites . . . . .	33
Vannes du mur de retenue . . . . .	33
Chambres intermédiaires et batardeaux constitués par la partie conservée de l'ancien ouvrage de garde . . . . .	34
Appoint de section apporté par les conduites à l'ouvrage définitif . . . . .	34

## NOUVEAU BARRAGE

Description . . . . .	34
Enceinte des caissons . . . . .	35
Radier . . . . .	35
Piles . . . . .	36
Doubles poutres en ciment armé réunissant les piles . . . . .	36
Voûtes, ponts et passerelles de service . . . . .	37
Débouché de l'ouvrage . . . . .	37
Choix de l'ouverture des travées . . . . .	38
Vannes . . . . .	38
Manœuvre à bras . . . . .	39
Manœuvre à vapeur . . . . .	39
Manœuvre hydraulique . . . . .	39
Batardeaux . . . . .	41
Raccordements de l'ouvrage avec ses abords . . . . .	41
Démolition de l'ancien ouvrage . . . . .	42
Conservation du bâtiment et de la turbine de l'ancien ouvrage . . . . .	42

## ANNEXE AU § 2.

Calculs justificatifs des vannes du nouveau barrage . . . . .	43
---	----

## § 3. — ECLUSE DE GARDE

Description . . . . .	53
Vannes et aqueducs de vidange et de remplissage . . . . .	54
Nature des maçonneries . . . . .	55
Conditions de résistance . . . . .	56

## TABLE DES MATIÈRES

187

<b>Exécution des fondations</b> . . . . .	56
Coulage du béton à la trémie . . . . .	56
Immersion du béton à talus coulant . . . . .	58
<b>Exécution des bajoyers</b> . . . . .	58
<b>Portes d'écluse</b> . . . . .	58
Vantaux . . . . .	58
Butoirs . . . . .	60
Appareils d'attache et de réglage . . . . .	60
Ancrages . . . . .	60
Appareils de manœuvre des portes . . . . .	60
Passerelles de service . . . . .	61
<b>Montage des portes</b> . . . . .	61

### § 4. — DÉVERSOIR

<b>Influence du déversoir</b> . . . . .	62
<b>Description</b> . . . . .	65
<b>Natures des Maçonneries</b> . . . . .	66

### § 5. — USINE-BARRAGE

<b>Description</b> . . . . .	67
<b>Radier</b> . . . . .	67
Fouilles . . . . .	69
Coulage du béton à l'air comprimé par caissons mobiles . . . . .	70
<b>Mur-barrage. Piles et Voûtes</b> . . . . .	73
Mode de construction du mur et de l'avant-radier . . . . .	75
<b>Salle des machines</b> . . . . .	77
Nature des maçonneries et des matériaux . . . . .	79
Céramo-cristal . . . . .	80
<b>Conditions de résistance</b> . . . . .	81
<b>Raccordements de l'usine-barrage avec ses abords</b> . . . . .	82
<b>Bâtiments annexes</b> . . . . .	82
<b>Utilisation du canal de Jonage pour la distribution des eaux de Lyon et de Villeurbanne</b> . . . . .	83

#### TRAVAUX DE PROTECTION AUX ABORDS DE L'USINE

<b>Travaux de protection antérieurs aux premiers essais de mise en eau</b> . . . . .	83
<b>Travaux de protection postérieurs aux premiers essais de mise en eau</b> . . . . .	84
Mur garde-radier . . . . .	85
Fonçage des caissons perdus . . . . .	85
Réfection du radier par cloches mobiles . . . . .	89
Réfection et consolidation du bétonnage d'amont . . . . .	90

### § 6. — ÉCLUSE DOUBLE

<b>Description</b> . . . . .	91
<b>Nature et mode d'exécution des maçonneries</b> . . . . .	92

Réfection du talus de raccordement du béton coulé à l'air comprimé et du béton coulé à la trémie. . . . .	96
Première installation . . . . .	96
Deuxième installation . . . . .	97
Troisième installation. Caisson flottant . . . . .	97

## § 7. — PONTS MÉTALLIQUES

Dispositions générales . . . . .	99
Piles et culées . . . . .	101
Construction des ponts du canal d'amenée. . . . .	101
Ecoperche. . . . .	101
Construction des ponts de canal de fuite. . . . .	102
Caisson métallique pour la fondation des piles . . . . .	102
Tabliers mécaniques. . . . .	104
Montage . . . . .	104
Chaussée . . . . .	105

## 8° OUVRAGES SECONDAIRES

Drague suceuse et piocheuse . . . . .	106
Pompe . . . . .	107
Tuyau d'aspiration . . . . .	107
Tuyau de refoulement . . . . .	107
Relais de refoulement . . . . .	107
Ponts à tablier en ciment armé sur le fossé latéral. . . . .	107
Aqueduc-siphon . . . . .	108
Siphons provisoires . . . . .	109
Maisons éclusières . . . . .	109

## ANNEXE AU § 8.

Calculs du tablier du pont de 12 mètres de portée en ciment armé. . . . .	111
§ 9. — REMARQUES SUR LA COMPOSITION ET LA FABRICATION DES MORTIERS ET BÉTONS . . . .	116

## CHAPITRE II

## INSTALLATION HYDRAULIQUE DE L'USINE

## § 1. — TURBINES. — VANNES D'ADMISSION

Puissance de l'usine . . . . .	123
Turbines génératrices de 1.250 chevaux . . . . .	124
Anneau porteur . . . . .	124
Roue motrice . . . . .	124
Roue directrice ou distributeur . . . . .	125

## TABLE DES MATIÈRES

	189
Huche . . . . .	126
Arbre vertical . . . . .	126
Vannage . . . . .	127
Réglage à main et régulateur automatique . . . . .	128
Turbines excitatrices . . . . .	130
Vannes des chambres d'entrée d'eau . . . . .	130
Pont transbordeur et chariot roulant . . . . .	131

### § 2. — CALCULS DES TURBINES

Calcul du rendement et de la vitesse angulaire de la turbine. Formules théoriques . .	133
Pertes dans les tuyaux d'amenée et d'échappement . . . . .	137
Pertes dans la roue directrice . . . . .	137
Pertes dans la roue motrice . . . . .	137
Pertes dues aux fuites entre la roue motrice et la roue directrice . . . . .	138
Pertes dues aux résistances du mécanisme . . . . .	139
Rendement . . . . .	140
Vitesse angulaire . . . . .	141
Constance dans le nombre de tours malgré les variations de la résistance . . . . .	142
Vitesse de régime . . . . .	143
Formules pratiques . . . . .	143
Vitesse d'écoulement à la sortie des guides . . . . .	144
Vitesse angulaire . . . . .	145
Rendement . . . . .	145
Détermination des sections des aubes de la roue directrice et de la roue motrice . . .	145
Application des formules pratiques . . . . .	145

## CHAPITRE III

### INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

#### USINE — CANALISATION — DISTRIBUTION

Mise au concours du projet d'installations électriques . . . . .	151
Choix du courant triphasé . . . . .	152
Tension et fréquence du courant . . . . .	153
Installation électrique de l'usine . . . . .	154
Alternateurs . . . . .	154
Excitatrices . . . . .	156
Tableau central . . . . .	157
Tableau des feeders . . . . .	158
Canalisation . . . . .	158
Câbles de haute et basse tension . . . . .	159
Pose des câbles . . . . .	159
Transformateurs . . . . .	160
Calcul de la ligne . . . . .	160
Distribution . . . . .	161
Moteurs . . . . .	161
Compteurs . . . . .	162

## CHAPITRE IV

## DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

Expropriations. . . . .	165
Construction du canal proprement dit . . . . .	165
Turbines, Alternateurs, Réseau de canalisation . . . . .	173

## ANNEXES

Tarifs de la Société lyonnaise des forces motrices du Rhône. . . . .	179
Tarif de vente de la <i>force motrice</i> au compteur d'énergie. . . . .	179
Tarif de vente de la <i>force motrice</i> à forfait et à l'année pour 12 heures. . . . .	180
Tarif de vente de la <i>lumière</i> au compteur d'énergie. . . . .	180
Tarif de location des moteurs et compteurs . . . . .	181
Tableaux des diverses industries utilisant le courant de Jonage au 30 avril 1902. . . . .	181
Résumé des abonnements à la force motrice ( <i>en fonctionnement</i> ) . . . . .	182
Résumé des abonnements à la lumière ( <i>en fonctionnement</i> ). . . . .	183
Production d'énergie de l'usine de Cusset du 1 <sup>er</sup> janvier 1899 au 30 avril 1902. . . . .	183
Recettes de la Société lyonnaise des forces motrices du Rhône du 1 <sup>er</sup> janvier 1899 au 30 avril 1902 . . . . .	183





---

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

---