

électrique de coke avec un mélange de baryte et de carbonate de baryum. Le cyanure résultant contient quelques produits d'oxydation dus à la présence d'un peu d'oxygène qu'a donné l'acide carbonique par dissociation.

Il est épuisé à l'eau et les lessives sont traitées par le carbonate de soude, de manière qu'il soit transformé en cyanure de sodium; ou bien encore on acidule ces liqueurs d'acide acétique et recueille l'acide cyanhydrique dans un alcali quelconque, tandis qu'on évapore à sec et calcine l'acétate de baryum resté en solution: il régénère le carbonate initial, en fournissant de l'acétone pure. Enfin le cyanure alcalin, sous l'action de la vapeur d'eau à haute température, pourrait donner de l'ammoniaque (1) qu'il serait facile de condenser dans un acide. Déjà il se crée une Compagnie commerciale pour tenter en grand cette industrie nouvelle.

Les siliciures alcalino-terreux sont des corps cristallins bleuâtres résultant de la réduction par le coke au four électrique d'un silicate du métal voulu (2); ce silicate peut être, au besoin, dû à l'action de la silice, dans le four lui-même, sur un sel quelconque, carbonate, sulfate, phosphate ou sur l'oxyde de ce métal. Ces corps s'attaquent par l'eau en dégageant de l'hydrogène, 300 litres par kilogramme (3), et ce serait par cette propriété qu'ils présenteraient un intérêt pratique, soit qu'on se propose d'en tirer le gaz lui-même, soit qu'on les emploie comme réducteurs en milieu neutre ou acide. Ils pourraient servir, en outre, à incorporer le silicium à l'acier ou à la fonte, sans y rapporter du carbone; le métal alcalino-terreux introduit en même temps les dépouillerait de plus de leur soufre et de leur phosphore sous forme de phosphure ou de sulfure alcalino-terreux, qui passeraient dans le laitier. Des essais soigneux ont été faits aux fonderies de Newark et ont donné les meilleurs résultats. Ce serait là un débouché important, aussi peut-on s'attendre à ce qu'une nouvelle Société vienne bientôt se joindre à celles déjà nombreuses qui doivent le jour à l'Ampère Electrochemical Co et démontrer encore quelle est l'efficacité de ce mode de groupement des activités inventives pour hâter le développement de l'industrie d'un pays. Les Américains l'ont si bien compris qu'ils viennent de fonder à Albany un établissement, *The Niagara Research Laboratories*, dans un des services duquel on offrira aux inventeurs ou aux industriels désireux de faire des essais, la force, l'espace, et les laboratoires nécessaires à leurs recherches chimiques, physiques et électrochimiques; ce sera en quelque sorte une annexe, un vestibule de The Electrochemical Co.

* *

Ce rapide examen, trop bref et superficiel pour certaines usines, un peu disparate à cause de la diversité et de l'inégalité des sources, ne donne parfois qu'une idée imparfaite des industries décrites; il ne pouvait, d'ailleurs, être question, en un aussi court espace, d'entrer dans des détails techniques plus précis et plus développés. Du moins, il permettra de se rendre compte de l'activité avec laquelle les Américains poursuivent, dans toutes les branches d'industrie et surtout

en électro-chimie, la mise en valeur de leurs réserves naturelles d'énergie; il fera sentir aussi quel profit il y a à retirer d'une étude plus attentive et plus approfondie de leurs méthodes de travail, simples et pratiques toujours, et souvent extrêmement ingénieuses, dont certaines sont le résultat d'expérimentations poursuivies avec des qualités de courage, de ténacité et de persévérance qui égalent fréquemment, chez l'Américain, cette audace dont on parle tant et qui lui sont parfois bien plus utiles.

P. PIERRON,
Chef des Travaux
à l'École de Chimie industrielle de Lyon.

FLEXIONS DES PAROIS DES CONDUITES DE GRAND DIAMÈTRE PENDANT LE REMPLISSAGE

Dans son intéressante étude sur l'établissement des conduites forcées (1), M. Auguste Bouchayer, ingénieur des arts et manufactures, a montré qu'il était nécessaire de se préoccuper des effets des flexions des parois, dans les calculs des épaisseurs des tôles, pour les canalisations de gros diamètres reposant sur le sol.

Ces conduites tendent, en effet, à s'aplatir sous l'action de leur propre poids et du poids de l'eau qu'elles contiennent, et si les efforts moléculaires qui en résultent dans les parois peuvent être généralement négligés, dans les cas ordinaires, il n'en est plus ainsi pour des canalisations dont les diamètres atteignent 2^m50 et même 3^m30, comme dans la conduite de Champ.

Les ovalisations des conduites sont surtout à craindre pendant la période du remplissage, car les effets de la pression intérieure tendent ensuite à rétablir la forme circulaire primitive des sections des tuyaux.

Après avoir indiqué quelques dispositions employées par les constructeurs pour s'opposer à ces déformations, M. A. Bouchayer a mentionné les formules que nous avons établies, pour le calcul des efforts moléculaires dus à ces flexions des parois, dans le cas d'une canalisation reposant sur une fondation plane, et il a signalé l'intérêt qu'il y aurait à compléter cette étude par une analyse détaillée des variations des fatigues des parois, pendant les diverses phases du remplissage, lorsque le niveau de l'eau s'élève progressivement dans la conduite.

On peut se demander, en effet, si c'est à la fin du remplissage, ou avant que la conduite ne soit entièrement remplie, que les déformations seront le plus importantes.

À la fin du remplissage, la partie supérieure du tuyau est soumise à des pressions dont la composante verticale de bas en haut tend à diminuer l'ovalisation mais, d'autre part, à ce moment, les pressions du liquide dans la partie inférieure de la conduite, sont plus fortes que dans le cas d'un remplissage partiel, et leur composante verticale de haut en bas tend à aplatir davantage le tuyau.

Un calcul direct permet seul de se rendre compte de celui des deux effets qui l'emporte sur l'autre, pendant les

(1) $Ba(CAz)^2 + 3 H_2O = BaO + 2 AzH_3 + 2 CO$
(2) $BaSi^2 O^5 + 5C = BaSi^2 + 5 CO.$
(3) $BaSi^2 + 6 H_2O = 5 H^2 + Ba(OH)^2 + 2 SiO^2$

(1) Voir *La Houille Blanche*, n° 8, décembre 1902.

diverses phases du remplissage, et c'est cette étude que nous allons donner ci-après.

Nous déduisons ensuite des formules obtenues une représentation graphique simple, permettant de se rendre compte des variations des efforts moléculaires pendant le remplissage, dans les diverses régions des parois, et nous verrons quelles sont les indications pratiques que l'on en peut tirer, pour la construction et l'établissement des conduites de grand diamètre posées sur le sol.

Calcul des flexions. — Considérons la section d'un tuyau, rempli d'eau jusqu'au niveau HH, cette section étant rapportée aux deux axes de coordonnées AX et AY (Fig. 1).

Soit Q l'effort normal et m le moment de flexion au point B. Nous compterons comme positifs les efforts normaux de tension, et les moments de flexion qui tendent à déformer la paroi en diminuant le rayon de courbure, et

comme négatifs les efforts de compression et les moments qui tendent à aplatir le tuyau.

Les quantités Q et m seront déterminées au moyen des formules générales de déformations élastiques des pièces courbes, en écrivant qu'après déformation, la section du tuyau reste symétrique par rapport à l'axe vertical AY, par suite :

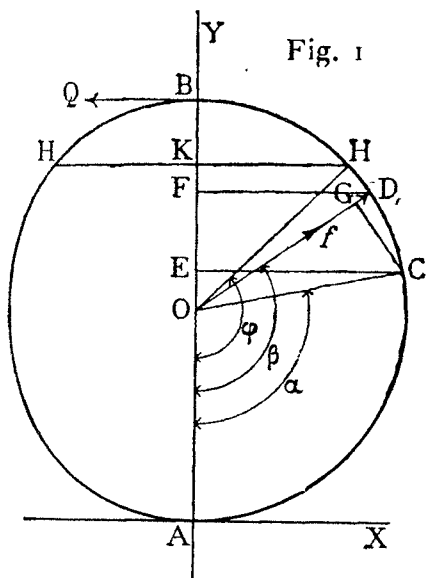


Fig. 1

- 1° Le déplacement angulaire du point B est nul ;
- 2° Son déplacement linéaire horizontal est nul.

On a ainsi deux équations générales de conditions, qui permettent de calculer les deux inconnues Q et m .

Soit α l'angle du rayon vecteur OC d'un point C quelconque de la paroi, avec le rayon vecteur origine OA, et M le moment de flexion au point C.

Les deux équations générales précédentes se réduiront à :

$$\int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} M dx = 0 \quad (1)$$

$$\int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} M \cos \alpha dx = 0 \quad (2)$$

en admettant que le moment d'inertie des sections des parois est constant suivant toute la circonférence et que, d'autre part, les déformations élastiques sont assez petites pour ne pas altérer sensiblement la forme circulaire de la section du tuyau.

Le moment fléchissant M en un point quelconque C est donné par les relations suivantes :

$$\text{De A en H, } M = Q \times BE + m - \int_c^m f \times CG \quad (3)$$

$$\text{De H en B, } M = Q \times BE + m \quad (3')$$

f étant la pression normale du liquide sur un élément quelconque ds de paroi en un point D, compris entre C et H.

Soit β l'angle au centre correspondant au point D,

φ l'angle au centre correspondant au point H,

δ le poids de l'unité de volume du liquide ($\delta = 1000$ k. dans le cas de l'eau).

$$\text{On aura : } f = \delta \times ds \times KF = \delta R^2 (\cos \beta - \cos \varphi) d\beta$$

$$BE = R (1 + \cos \alpha)$$

$$CG = R \sin (\beta - \alpha)$$

L'équation (3) devient alors

$$M = QR (1 + \cos \alpha) + m - \delta R^3 \int_{\beta=\alpha}^{\beta=\varphi} (\cos \beta - \cos \varphi) \sin (\beta - \alpha) d\beta$$

d'où, après intégration :

$$\left. \begin{aligned} \text{De A en H, } M &= QR (1 + \cos \alpha) + m \\ &- \delta R^3 \left[-\frac{1}{2} (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi - \alpha) \sin \alpha + \frac{1}{2} (1 + \cos^2 \varphi) \cos \alpha - \cos \varphi \right] \end{aligned} \right\} (4)$$

et au-dessus du niveau du liquide :

$$\text{De H en B, } M = QR (1 + \cos \alpha) + m \quad (4')$$

En remplaçant M par ces expressions, dans les équations générales de déformation (1) et (2), on a, après avoir effectué les calculs :

$$QR \pi + m \pi - \delta R^3 \left[\sin \varphi - \varphi \cos \varphi - \frac{1}{2} (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi) \right] = 0 \quad (5)$$

$$\text{et } QR \frac{\pi}{2} + m \times 0 - \frac{1}{4} \delta R^3 \left(\frac{\varphi}{2} + \varphi \cos^2 \varphi - \frac{3}{2} \sin \varphi \cos \varphi \right) = 0 \quad (6)$$

En remplaçant Q et m par leurs valeurs tirées des deux équations qui précèdent, dans les expressions générales des moments de flexion (4) et (4'), on a finalement :

De A en H :

$$\left. \begin{aligned} \frac{M}{\frac{1}{2} \delta R^3} &= (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi - \alpha) \sin \alpha \\ &- \left[1 + \cos^2 \varphi - \frac{1}{\pi} \left(\frac{\varphi}{2} + \varphi \cos^2 \varphi - \frac{3}{2} \sin \varphi \cos \varphi \right) \right] \cos \alpha \\ &+ 2 \cos \varphi + \frac{2}{\pi} (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi - \frac{1}{2} \varphi + \frac{1}{2} \sin \varphi \cos \varphi) = Z' \end{aligned} \right\} (8)$$

et de H en B,

$$\left. \begin{aligned} \frac{M}{\frac{1}{2} \delta R^3} &= \frac{1}{\pi} \left(\frac{\varphi}{2} + \varphi \cos^2 \varphi - \frac{3}{2} \sin \varphi \cos \varphi \right) \cos \alpha \\ &+ \frac{2}{\pi} (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi - \frac{1}{2} \varphi + \frac{1}{2} \sin \varphi \cos \varphi) = Z'' \end{aligned} \right\} (8')$$

Nous remarquerons que si l'on fait $\varphi = \pi$ dans la première de ces formules, ce qui correspond à la fin du remplissage, l'expression Z' se réduit à la fonction simple :

$$Z = (\pi - \alpha) \sin \alpha - \frac{1}{2} \cos \alpha - 1$$

et si l'on pose $K = \frac{1}{2} \delta R^3$

on retrouve notre formule générale :

$$M = KZ$$

que M. A. Bouchayer a mentionnée dans son article sur l'établissement des conduites forcées, et dans laquelle le coefficient K est égal à $pR^2 + \delta R^3$, lorsque l'on tient compte du poids p des parois, par mètre courant de circonférence du tuyau.

Cette fonction Z , dont nous donnerons plus loin une représentation graphique, permet d'écrire plus simplement la formule (8).

Posons en effet : $\varphi \cos \varphi - \pi \cos \varphi - \sin \varphi = a$
 $\pi - \varphi + \sin \varphi \cos \varphi = b$
 $\varphi \cos \varphi - \sin \varphi = e$
 $\sin \varphi \cos \varphi - \varphi = g$

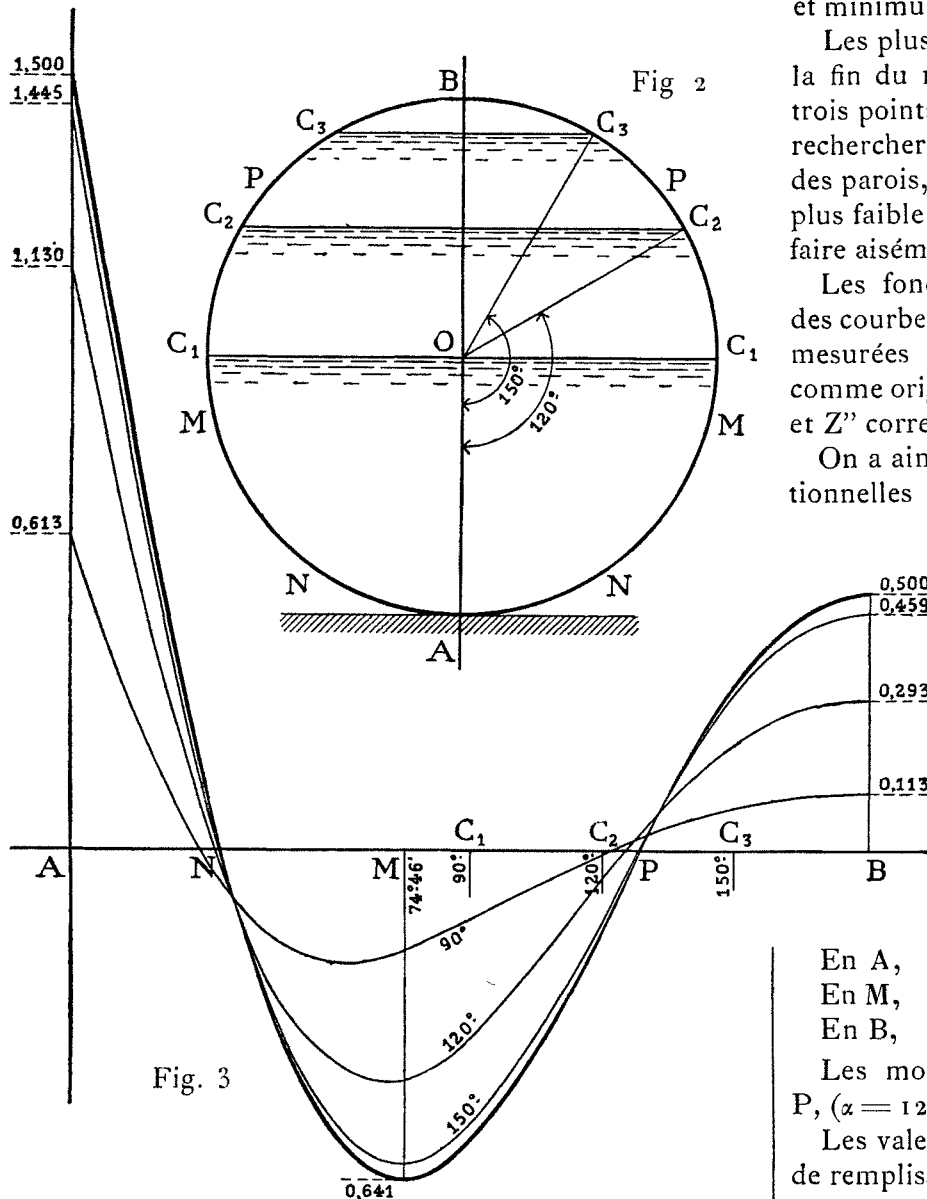
Nous aurons, de A en H :

$$Z' = Z - b \sin \alpha - \frac{1}{\pi} \left(\frac{b}{2} - a \cos \varphi \right) \cos \alpha + \frac{1}{\pi} (b - 2a) \quad (9)$$

et de H en B :

$$Z'' = -\frac{1}{\pi} \left(\frac{g}{2} - e \cos \varphi \right) \cos \alpha + \frac{1}{\pi} (g - 2e) \quad (9')$$

Telles sont les formules qui permettent de calculer les moments de flexion en tous les points de la paroi, pour les diverses phases du remplissage caractérisées par les valeurs successives de l'angle φ .



pour quelle phase du remplissage se produisent les plus grands maximums et les plus petits minimums.

Ces calculs ne présentent aucune difficulté et l'on trouve ainsi que, pour une valeur de φ déterminée, on a un minimum négatif pour $\alpha = \pi$ (au point B) et un maximum positif pour une valeur de α comprise entre 0 et π , et variable suivant la valeur de φ .

Enfin pour $\alpha = 0$ (au point A) les moments sont négatifs et leur valeur absolue est plus grande que les deux valeurs qui précèdent.

On trouve ensuite que les trois moments en B, en A, et au point intermédiaire variable, sont le plus grand en valeur absolue pour $\varphi = \pi$, ce qui démontre que c'est à la fin du remplissage que les moments de flexion maximum et minimum ont leur plus grande valeur absolue.

Les plus grandes fatigues des parois se produisent donc à la fin du remplissage, mais cela n'est exact que pour les trois points définis précédemment et il est intéressant de rechercher les variations des fatigues dans les autres points des parois, bien que leur valeur absolue soit nécessairement plus faible que la plus grande des précédentes. Cela peut se faire aisément par le procédé graphique suivant :

Les fonctions Z' et Z'' peuvent être représentées par des courbes, en portant en abscisses les valeurs des angles α , mesurées en longueurs d'arc à partir du point A pris comme origine, et en portant en ordonnées les valeurs de Z' et Z'' correspondantes.

On a ainsi des courbes dont les ordonnées sont proportionnelles aux moments fléchissants en chaque point des parois. En superposant quelques courbes des valeurs successives de φ , on a une représentation graphique très claire des variations des moments.

C'est ainsi que nous avons tracé les courbes de l'épure (Fig. 2 et 3) pour les trois valeurs $\varphi = 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ et pour $\varphi = 180^\circ$.

Cette dernière est la fonction Z correspondant à la fin du remplissage. Les trois points correspondant aux plus grandes valeurs absolues des moments sont A, M et B, et l'on a :

En A,	$Z = -1,500$	$\alpha = 0^\circ$
En M,	$Z = +0,641$	$\alpha = 74^\circ 46'$
En B,	$Z = -0,500$	$\alpha = 180^\circ$

Les moments sont nuls aux points N, ($\alpha = 33^\circ 41'$) et P, ($\alpha = 129^\circ 23'$).

Les valeurs des moments en A et B pour les trois phases de remplissage considérées sont indiquées sur l'épure.

Conclusions pratiques. --- L'examen de ces courbes nous donnera maintenant quelques indications utiles pour la construction et l'établissement des conduites de grand diamètre reposant sur le sol :

Pour les tuyaux en tôle rivée, sans armatures, il y a tout intérêt à disposer les files longitudinales de rivets dans les régions des parois où les moments sont le plus faibles.

Or, nous voyons que ces points ne varient guère, pendant tout le remplissage, les courbes successives Z' et Z'' coupant toujours l'axe des abscisses dans le voisinage des points N

Pour une valeur déterminée de φ correspondant à un niveau particulier de l'eau dans la conduite, on connaîtra les valeurs de α qui correspondent aux maximums et minimums des fonctions Z' et Z'' et par suite des moments M , en égalant à zéro les dérivées des fonctions Z' et Z'' prises par rapport à la variable α .

On en déduira les expressions de ces moments maximums et minimums en fonction de φ , et en annulant les dérivées de ces nouvelles fonctions prises par rapport à φ , on verra

et P. C'est donc vers 30° et vers 130° du point inférieur A qu'il sera préférable de disposer des files longitudinales de rivets. Grâce à cette précaution, qui ne correspond à aucune sujétion nouvelle de construction, les sections ne seront plus sensiblement affaiblies en ces endroits, et les flexions y étant nulles, les rivures y seront plus facilement étanches. On voit de plus que la zone des plus grands moments se trouve dans le voisinage immédiat du point d'appui inférieur A et qu'elle ne s'étend guère de part et d'autre. Par contre, le moment au point A est près de trois fois plus grand que le moment maximum M, et il est égal exactement à trois fois le moment au point B.

Aussi, y a-t-il tout intérêt, dans la pratique, à appuyer les tuyaux sur une certaine zone, à leur partie inférieure, ce qui soulage la partie qui se trouve de beaucoup la plus fatiguée. C'est d'ailleurs ce que l'on fait, le plus généralement, pour les conduites de grand diamètre.

Enfin, l'on peut utiliser les courbes précédentes pour renforcer les parois d'une manière rationnelle, dans les régions des plus grandes fatigues, en superposant plusieurs épaisseurs de tôles. L'épure de répartition des fers serait analogue à celle qui donne les dispositions des plate-bandes dans les poutres droites à travées continues.

Mais l'on préférera, dans la pratique, conserver plutôt une épaisseur de tôles constante, et aussi faible que possible, et renforcer la paroi par des *armatures* s'opposant aux déformations. Les sections des armatures transversales se détermineront donc par une épure analogue, les valeurs des moments de flexion étant en outre proportionnelles à l'espacement de deux armatures transversales consécutives.

Entre deux armatures transversales, les tôles pourront être raidies par des armatures longitudinales calculées pour résister à la pression de la zone de paroi qu'elles supportent, leur portée étant égale à la distance des armatures transversales entre elles.

Il sera préférable d'avoir des armatures transversales assez rapprochées, et qui seront d'ailleurs plus simples à constituer. Une cornière extérieure y suffira le plus souvent. On se rapproche mieux ainsi des conditions théoriques d'établissement des formules, ce qui donne toute sécurité au point de vue de l'efficacité des armatures.

Dans tous ces calculs on peut employer des coefficients de travail élevés, il suffit de demeurer au-dessous de la limite d'élasticité, lorsque l'on ajoute au travail dû aux flexions celui qui est dû à la pression intérieure, car le travail total est inférieur à la somme des deux coefficients, ainsi que nous l'avons fait remarquer au commencement de cette étude, la pression diminuant les ovalisations, lorsque la conduite est en charge.

C. BIRAULT,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

L'USINE D'ÉNERGIE DES MOULINEAUX

Des essais actuellement en voie d'exécution font présager qu'à une époque relativement prochaine, on pourra doubler la portée du transport électrique de l'énergie, au grand bénéfice des régions de houille blanche. Cependant, après cette con-

quête, il n'en restera pas moins l'obligation de continuer à organiser avec la houille noire, pour les villes situées en dehors de cette zone élargie, des stations génératrices capables de satisfaire à des demandes élevées d'énergie électrique.

C'est pourquoi nous avons pensé qu'il ne serait pas déplacé ici d'attirer l'attention de nos lecteurs sur la très remarquable installation faite aux Molineaux par les soins de la Société Westinghouse, pour satisfaire à de semblables besoins. Elle constitue, à notre avis, un exemple intéressant pour les ingénieurs.

Situation et But. — Cette usine est située sur la rive gauche de la Seine, au débouché du Val-Fleuri, en bordure sud du chemin d'Issy à Chaville, à proximité d'Issy et de Meudon, en pleine banlieue parisienne.

Son but est triple :

1° Fournir à la C^{ie} des Chemins de Fer de l'Ouest, l'énergie nécessaire à l'éclairage de ses gares et à la traction de ses trains sur la nouvelle ligne de Paris (Invalides), à Versailles. Cette ligne a 17 kilomètres de longueur, sa déclivité moyenne est de 0,05 ; elle traverse le territoire de Meudon par un tunnel de 3350^m de long, sous lequel il eût été extrêmement désavantageux d'employer des locomotives à feu, en supposant que leur emploi eût été possible par ailleurs.

2° Fournir au chemin de fer Métropolitain de Paris, une partie de l'énergie qui lui est nécessaire pour son exploitation.

3° Fournir l'énergie aux tramways de l'Ouest-Parisien.

Pour satisfaire à ces demandes, dont le total peut, à certaines heures, atteindre plus de 5000 kilowatts et qui n'admettent pas le moindre retard dans leur satisfaction, il était indispensable de créer un outillage des plus puissants et des plus sûrs.

Dispositions générales. — Le total de la superficie occupée par l'usine et ses dépendances est voisin d'un hectare, et, sur cette surface, la salle des machines compte pour 2200 mq. avec ses 110^m de long et ses 20^m de large.

Accolée à cette salle, couvrant une superficie de plus de 1400 mq. le long de la façade sud de la salle des machines, suivant sa plus grande dimension, se trouve la batterie des 27 chaudières.

Le charbon arrive directement sur wagon de la C^{ie} de l'Ouest et est déchargé dans des soutes spacieuses s'ouvrant en face de chaque foyer.

L'enlèvement et l'évacuation des cendres sont automatiques.

La largeur de la salle des machines a été déterminée de telle sorte, que les neuf groupes électrogènes étant placés les uns à côté des autres, un seul groupe, avec les dégagements qui lui sont nécessaires, occupe cette largeur.

Ces 9 groupes sont subdivisés en 3 séries de 3 et ces séries sont séparées entre elles chacune par deux excitatrices, ce qui porte à 4 le nombre de celles-ci.

Le tableau de distribution, surélevé, occupe au bout de la salle opposée à l'entrée, toute la paroi intérieure du pignon est.

Ces dispositions d'ensemble, à la fois simples et commodes, assurent la facilité, et, par suite, la régularité du service.

Entrons rapidement dans le détail des organes principaux.

Chaudières et Moteurs. — Les chaudières sont du type Meunier, de Lille, semi-tubulaires, à deux bouilleurs, timbrées à 12 kilogr. de pression par centimètre carré de surface de chauffe (235 mq. par chaudière).

Les machines à vapeur sont horizontales, font 80 tours par minute, mais, tout en pouvant marcher à condensation aussi bien qu'à échappement libre, et se régulariser par l'admission variable, sont de deux types différents :

a) Six sont à triple expansion à 4 cylindres, distribution Wheelock, construites par la maison Dujardin, de Lille, qui en avait fait figurer un spécimen à l'Exposition de 1900, où il fut remarqué. Ces machines ont leurs condenseurs dans le sous-sol.

b) Trois sont des Corliss, compound, de Garnier et Faure-Beaulieu, à 2 cylindres, avec leurs manivelles calées à 90° l'une