{BnF Gallica

Le Génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères...

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des ponts et chaussées

BnF Gallica

Le Génie civil. Revue générale des industries françaises et étrangères.... 1912/06/15.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter **reutilisationcommerciale@bnf.fr**.

La base de la tour étant évidée pour le passage de l'eau, nous avons fait ce calcul pour une section suffisamment élevée au-dessus des évidements, soit à 20 mètres au-dessous du sommet (fig. 3).

Poids de la tour et de la moitié de la passerelle d'accès : 60 000 kilogrammes.

Effort renversant du vent (300 kilogr. par mètre carré) : 18 000 kilogrammes.

$$d = \frac{18\,000 \times 10}{60\,000} = 3 \text{ mètres, d'où } \eta = \frac{3}{1,425} = 2,10,$$

$$r = 1,425 \quad e = 0,15.$$

Génératrices : 20 ronds de 10 millimètres par mètre courant de paroi, soit :

$$p = \frac{100 \times 20 \times 0,785}{1\,500} = 1,05.$$

L'abaque donne $\alpha = 70^\circ\, 30'$.

On en déduit :

$$\left.\begin{array}{l} R_{at} = 16(1+0,334) \\ R_{ac} = 16(1-0,334) \\ R_b = \quad (1-0,334) \end{array}\right\} \times \frac{60000}{2,85 \times 0,15 \times 0,334 \times (2,826 - 1,230 - 0,525)} = \left\{\begin{array}{l} 8,4 \,.\, 10^6 \\ 4,2 \,.\, 10^6 \\ 26,2 \,.\, 10^4 \end{array}\right.$$

Flexion simple. — Ce cas correspond à une valeur infinie de la distance d ou, ce qui revient au même, de l'excentricité η.

En faisant η infini dans l'équation [3], on a :

$$p = 2\,(\text{tg}\,\alpha - \alpha). \qquad [5]$$

Cette équation représente une courbe qui doit être tracée sur l'abaque ; c'est la courbe qui porte l'indice ∞. Elle servira à déterminer α connaissant p, ou réciproquement, de la même manière qu'une quelconque des courbes de la famille.

Le travail élastique des matériaux a pour expression :

$$\left.\begin{array}{l} R_{at} = m\,(1 + \cos\alpha) \\ R_{ac} = m\,(1 - \cos\alpha) \\ R_b = \quad (1 - \cos\alpha) \end{array}\right\} \times \frac{Mr}{I}.$$

M étant le moment fléchissant.

Nous avons trouvé pour I l'expression :

$$I = 2r^3 m\varepsilon\left(\frac{\pi}{2} + \pi\cos^2\alpha\right) + 2r^3 e\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{3}{4}\sin 2\alpha + \alpha\cos^2\alpha\right), \qquad [6]$$

$$= 2r^3 e\left[\frac{p}{2}\left(\frac{1}{2} + \cos^2\alpha\right) + \frac{\alpha}{2} - \frac{3}{4}\sin 2\alpha + \alpha\cos^2\alpha\right].$$

En remplaçant $\frac{p}{2}$ par sa valeur $(\text{tg}\,\alpha - \alpha)$ tirée de [5] et simplifiant, on a :

$$I = 2r^3 e\left(\frac{\text{tg}\,\alpha}{2} - \frac{\text{tg}\,\alpha\cos^2\alpha}{2}\right) = r^3 e\,\text{tg}\,\alpha\sin^2\alpha. \qquad [7]$$

Le facteur commun de l'expression des travaux est donc :

$$\frac{M}{r^2 e\,\text{tg}\,\alpha\sin^2\alpha}. \qquad [8]$$

Cette expression très simple se prête bien au calcul, mais on peut avoir une valeur suffisamment approchée du dénominateur au moyen d'une simple lecture. A cet effet, la courbe d'indice ∞ porte une graduation correspondant aux valeurs de la fonction $(\text{tg}\,\alpha\sin^2\alpha)$. Dans ces conditions, si, par exemple, l'on s'est donné le pourcentage, la manœuvre de la règle donnera l'angle α sur la graduation du cercle et la valeur φ de la fonction sur celle de la courbe ; le facteur commun sera $\frac{M}{r^2 e\varphi}$. L'approximation du centième que donne la graduation est bien suffisante pour les besoins de la pratique.

Cherchons à nous rendre compte de l'effet de la variation de l'angle α (ou du pourcentage, ce qui revient au même) sur la force portante de la poutre. Soit un aqueduc de $1^m\,90$ de diamètre intérieur et $0^m\,10$ d'épaisseur ; on a donc : $r = 1$, $e = 0,10$. En faisant varier α, nous aurons les résultats suivants :

Valeurs de α	60°	65°	70°	75°
Pourcentage correspondant . . .	1,30	2,05	3,10	4,75
Valeur de φ.	1,30	1,75	2,35	3,50
Valeur de $1 + \cos\alpha$.	1,50	1,42	1,34	1,26
Moment fléchissant admissible pour $R_{at} = 12$ kilogr. $\times 10^6$.	75 000	93 000	132 000	210 000
Portée correspondante avec demi-encastrement $\frac{pl^2}{10}$ ($p = 4\,500$ kgr.)	$12^m\,90$	$14^m\,40$	$17^m\,10$	$21^m\,60$
Travail correspondant du béton .	25.10^4	$30,7.10^4$	$37,5.10^4$	45.10^4

En passant de 60° à 75°, le moment fléchissant admissible a donc sensiblement triplé, alors que le pourcentage a quadruplé et que le prix de la poutre n'a même pas doublé (aux prix de base admissibles pour ce genre d'ouvrage : 150 francs le mètre cube de béton et 0 fr. 50 le kilogr. d'acier, pose et coffrages compris). Le travail du béton n'a pas doublé et reste au-dessous de la limite 56×10^4 admise par la circulaire de 1906 ; il ne pourrait atteindre cette limite avec de l'acier ordinaire à 42 kilogr. de rupture, que moyennant des pourcentages inacceptables dans la pratique du travail, et l'emploi d'acier à haute limite d'élasticité paraît ne présenter aucun avantage économique en dehors de cas tout à fait spéciaux.

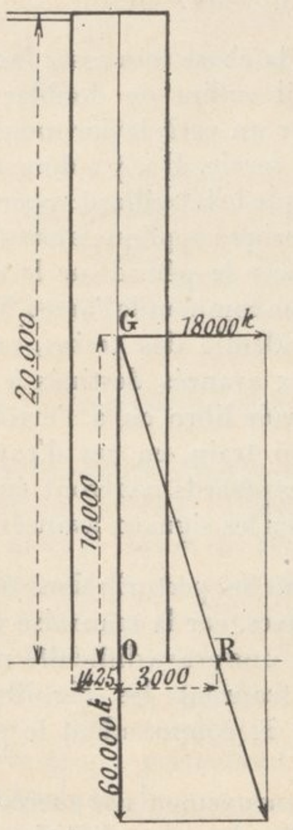

Fig. 3.

Déformation élastique. — Les calculs qui précèdent, ayant pour but de rechercher la fatigue locale maximum, ont été faits dans l'hypothèse d'un béton dépourvu de résistance à l'extension ; ils ne sont donc pas applicables à la détermination des déformations élastiques, pour laquelle on doit faire état de la résistance à l'extension de la section entière et prendre pour le moment d'inertie de cette section la valeur : $I_0 = \pi r^3(e + m\varepsilon) = r^3 e\left(\pi + \frac{p}{2}\right)$.

P. Caufourier,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.

CHEMINS DE FER

LA PERCEPTION DES SIGNAUX EN TEMPS DE BROUILLARD

Répétiteurs lumineux de la ligne de Bruxelles à Anvers.

La perception des signaux de chemins de fer, sur laquelle est basée la sécurité de l'exploitation, devient parfois extrêmement difficile pendant certaines perturbations atmosphériques : brouillard, chute de neige ou pluies violentes. Toutefois, c'est le brouillard qui constitue le principal obstacle à la visibilité des signaux, et, en certaines régions, il peut être assez fréquent et persistant, à l'automne notamment.

Par les temps de brouillard, la distance à laquelle le feu d'un signal est perceptible se trouve considérablement réduite ; de ce fait, une très faible partie du faisceau lumineux peut seule avoir un effet utile, et ce mince pinceau ne sera recoupé que pendant un temps extrêmement court par l'œil du mécanicien, à qui il pourra échapper.

Il y a donc là un problème fort intéressant pour l'exploitation des chemins de fer, notamment sur les sections à circulation intense et à grandes vitesses. Mais la solution n'est pas très facile si l'on veut, d'une part, ne pas compliquer encore des dispositions de signaux déjà parfois fort complexes, et, d'autre part, ne pas engager de dépenses d'établissement et d'entretien qui ne seraient pas en rapport avec les avantages à retirer de ces installations spéciales.

Il faut bien remarquer, en effet, qu'en général, les périodes de brouillard sont exceptionnelles et souvent de très courte durée, et, pratiquement, on ne peut envisager l'aménagement de dispositifs spéciaux assurant la visibilité des signaux, que s'il s'agit d'une ligne à grand trafic, dans une région où ces périodes de brouillard peuvent avoir quelque fréquence, et une certaine persistance ; c'est le cas notamment de la ligne de Bruxelles à Anvers, dont il sera parlé plus loin.

Marche des trains en temps de brouillard. — Le mécanicien devient hésitant dans la conduite de son train, et en ralentit considérablement la vitesse. La conséquence est une diminution très sensible du débit de la ligne. Aussi les Compagnies sont-elles

Source gallica.bnf.fr / Ecole nationale des ponts et chaussées

amenées alors à réduire le nombre des trains mis en circulation. Mais comment assurer la sécurité, la perception de certains signaux pouvant échapper complètement aux mécaniciens ?

Cas de la pleine voie. — En pleine voie, la chose sera assez facile, avec les installations de block-system, car il suffira de doubler les sémaphores par un pétard (1), actionné par un petit levier monté à proximité du sémaphore, et toujours prêt à servir. Il n'y a donc aucune disposition particulière à prendre lorsque le brouillard apparaît, l'agent chargé du service du poste sémaphorique applique alors simplement la consigne qui lui prescrit de placer le pétard sur le rail, pendant tout le temps où l'aile sémaphorique commande l'arrêt. Mais cela n'évitera pas la marche hésitante et ralentie des trains, car si le mécanicien n'a pu apercevoir les signaux avancés destinés à lui indiquer à distance si le sémaphore est à voie libre ou à l'arrêt, il se tiendra sur ses gardes, prêt à arrêter son train, en cas d'explosion d'un pétard. Aux abords des gares, des pétards pourront également être placés sur les voies, pour doubler les signaux avancés.

Cas des gares. — C'est dans les gares que les perturbations occasionnées par le brouillard sont les plus graves, car la mauvaise visibilité des signaux n'est plus seule en cause, une grave difficulté nouvelle intervient : l'impossibilité où se trouvent les aiguilleurs d'apercevoir les trains et manœuvres dont ils commandent le passage.

S'il s'agit d'une gare importante où les mouvements se succèdent à courts intervalles, l'exploitation deviendra des plus difficiles, les

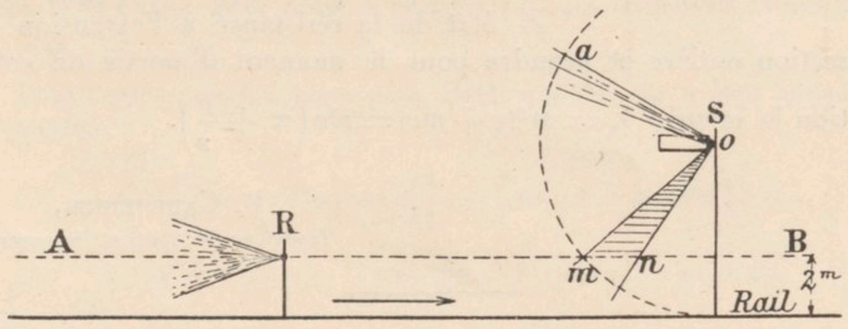

Fig. 1. — Schéma de l'installation d'un répétiteur lumineux en avant du signal S.

aiguilleurs ne pouvant apprécier le moment où telle voie est dégagée et où tel mouvement peut être autorisé. On sera alors obligé de les prévenir par des agents placés dans des postes reliés par téléphone aux cabines. Mais le débit de la gare sera considérablement diminué, et les trains subiront des retards pouvant être fort importants.

Le problème est donc complexe, car il ne suffirait pas de rendre les signaux perceptibles aux mécaniciens, mais il faudrait encore rendre les trains visibles aux aiguilleurs et agents de la gare, et la seule solution plausible serait la dispersion du brouillard. Ce problème sera sans doute résolu tôt ou tard, au moins pour certains points comme les grandes gares, car des résultats fort intéressants ont déjà été obtenus à cet égard. Il faut en particulier signaler les expériences faites par M. Dibos, qui a étudié la dispersion du brouillard par l'émission d'ondes électriques à très haute tension. Les résultats obtenus sont des plus encourageants, et la Compagnie du Nord a déjà expérimenté le système de M. Dibos dans la zone extérieure de sa gare de Paris, où la dispersion rapide du brouillard rendrait, à certains moments, les plus grands services.

Dispositions facilitant l'exploitation en temps de brouillard. — Pour remédier au défaut de visibilité des signaux normaux, nous avons déjà indiqué l'emploi des pétards, qui assure évidemment la sécurité s'il est employé judicieusement, mais qui ne supprime pas le ralentissement des trains et ses inconvénients.

L'usage de répétiteurs de locomotives parerait évidemment au défaut de visibilité des signaux de la voie en cas de brouillard, et c'est alors que leur emploi serait le mieux justifié. Mais ce ne serait pas encore là une solution parfaite du problème, en raison des inconvénients sérieux que peuvent présenter, d'autre part, ces signaux répétiteurs de machine. Cette question ayant été étudiée en détail, il y a peu de temps, dans le *Génie Civil* (1), il n'y a pas lieu d'y revenir ici.

Il faut aussi envisager l'éclairage intensif des signaux en cas de brouillard, ou l'emploi de répétiteurs lumineux très visibles, et mis en service dès que l'état de l'atmosphère le justifie. C'est cette solution qui a été appliquée par l'État Belge, sur la ligne de Bruxelles à Anvers, et que nous allons examiner.

Répétiteurs lumineux de signaux, en cas de brouillard, installés sur la ligne de Bruxelles a Anvers. — La ligne de 44 kilom., qui relie Bruxelles à Anvers, assure un trafic considérable; le nombre des trains par vingt-quatre heures y approche parfois de 200, dans chaque sens, et ne descend guère au-dessous de 120. En outre, cette ligne traverse une région où il se produit quelquefois des brouillards très opaques et persistants qui rendaient son exploitation des plus difficiles. On se trouvait donc dans un cas où des mesures spéciales s'imposaient, et où il était très justifié d'engager des dépenses pour améliorer la situation.

On pouvait songer à doter les signaux normaux d'un dispositif d'éclairage intensif, utilisé en cas de brouillard, mais l'amélioration n'aurait été que minime, ces signaux ayant leurs feux à assez grande hauteur, afin d'être normalement aperçus de loin.

Soit, en effet, un signal S (fig. 1) dont le feu *o* peut se trouver à une hauteur de 4 à 10 mètres au-dessus du rail; si *oa* est la distance maximum à laquelle ce feu *o* est perceptible en cas de brouillard, on voit de suite que seule la petite partie *mno* du faisceau lumineux pourra impressionner l'œil du mécanicien qui parcourt la ligne AB et qui la recoupera suivant *mn*, pendant un temps fort court. Au contraire, un répétiteur lumineux R, placé sur le côté de la voie, sensiblement à hauteur de l'œil du mécanicien, et le plus près possible de la voie, sera vu pendant un temps bien plus long.

C'est ce système très logique des *répétiteurs lumineux* qui a été adopté et est appliqué depuis juin 1908; les résultats obtenus ont été très satisfaisants.

Signalisation de la ligne et disposition des répétiteurs lumineux. — La ligne de Bruxelles à Anvers est signalisée au moyen du système très simple des signaux à palettes des Anglais, adopté maintenant par l'État Belge. Il n'y a, par suite, que deux types de signaux utilisés :

1° *Un signal de protection*, commandant l'arrêt absolu et utilisé, soit comme signal de block-system, soit comme signal de protection, aux bifurcations ou dans les gares.

Ce signal est constitué par une palette rectangulaire commandant l'arrêt, si elle est horizontale, et donnant la voie libre si elle est inclinée. La nuit, un feu rouge commande l'arrêt et un feu vert autorise le passage;

2° *Un signal à distance avertisseur*, placé à 900 mètres en avant du signal d'arrêt, et constitué par une palette terminée en flèche.

Ce signal, qui est toujours franchissable, a simplement pour but d'indiquer, à l'avance, aux mécaniciens, la position « à voie libre » ou « à voie fermée », du signal d'arrêt qui le suit. La nuit, un feu vert indique la voie libre et, un feu orangé, l'arrêt possible au signal suivant, c'est-à-dire la « marche à vue ».

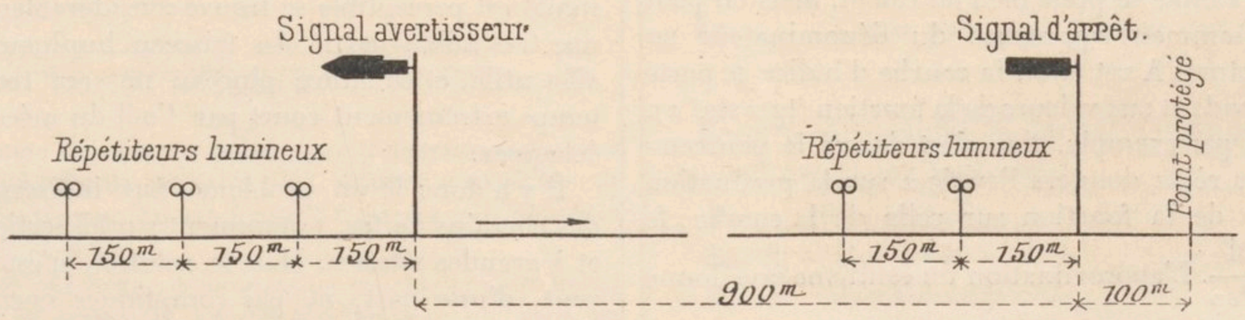

Fig. 2. — Disposition type d'un groupe de deux signaux avec leurs répétiteurs.

Après une série d'expériences, il a été reconnu qu'il convenait de faire précéder le signal à distance avertisseur, de trois répétiteurs lumineux, placés à 150 mètres les uns des autres, le dernier de ces répétiteurs étant lui-même à 150 mètres du signal.

Ces répétiteurs sont munis de deux feux : un feu vert pour indiquer la voie libre, et un feu jaune orangé pour indiquer la voie fermée.

En avant du signal d'arrêt, deux répétiteurs seulement ont été jugés suffisants. En conséquence, la disposition type d'un système de deux signaux et de leurs répétiteurs lumineux est celle qui est indiquée par la figure 2.

(1) Il s'agit, bien entendu, des sémaphores « permissifs » qui, en temps normal, ne sont pas doublés par des pétards.

(1) Voir le *Génie Civil*, t. LIX, nos 8, 9 et 10. (*La répétition des signaux sur les locomotives.*)

Aux bifurcations, où chaque signal est muni de deux palettes correspondant chacune à l'une des directions possibles, on pourrait envisager le dédoublement des répétiteurs lumineux, de façon à donner simultanément le feu vert pour la direction ouverte et le feu jaune pour la direction fermée, on aurait eu alors la disposition de la figure 3. Mais cela aurait compliqué l'installation, et la simultanéité de feux répétiteurs de couleurs différentes aurait pu être la cause d'erreurs ou d'interprétations douteuses par les mécaniciens. Aussi cette solution a-t-elle été écartée par l'État Belge,

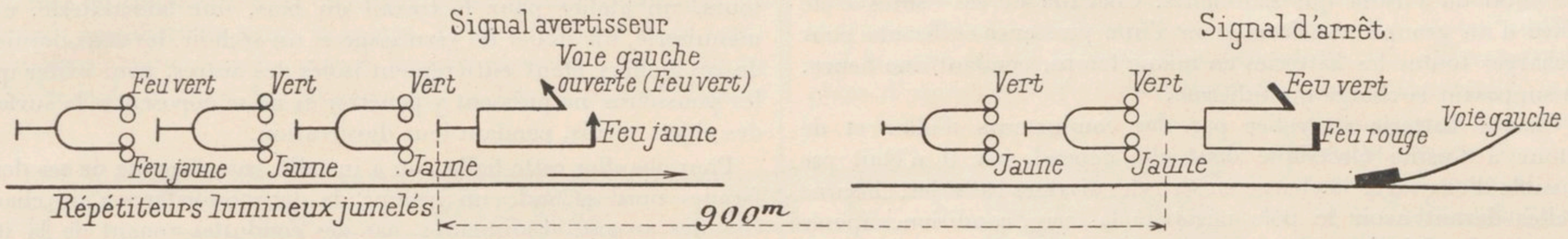

Fig. 3. — Schéma d'une installation de deux signaux, dont un avec répétiteurs jumelés, avant une bifurcation.

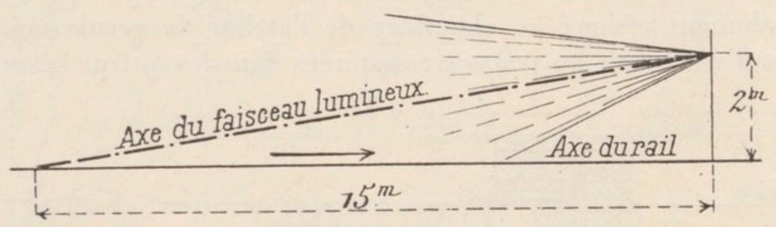

Fig. 4. — Éclairement de la voie par un répétiteur lumineux.

qui a fait précéder les signaux à palettes multiples des mêmes répétiteurs lumineux que les signaux à simple palette, en les considérant comme de simples suppléments de sécurité.

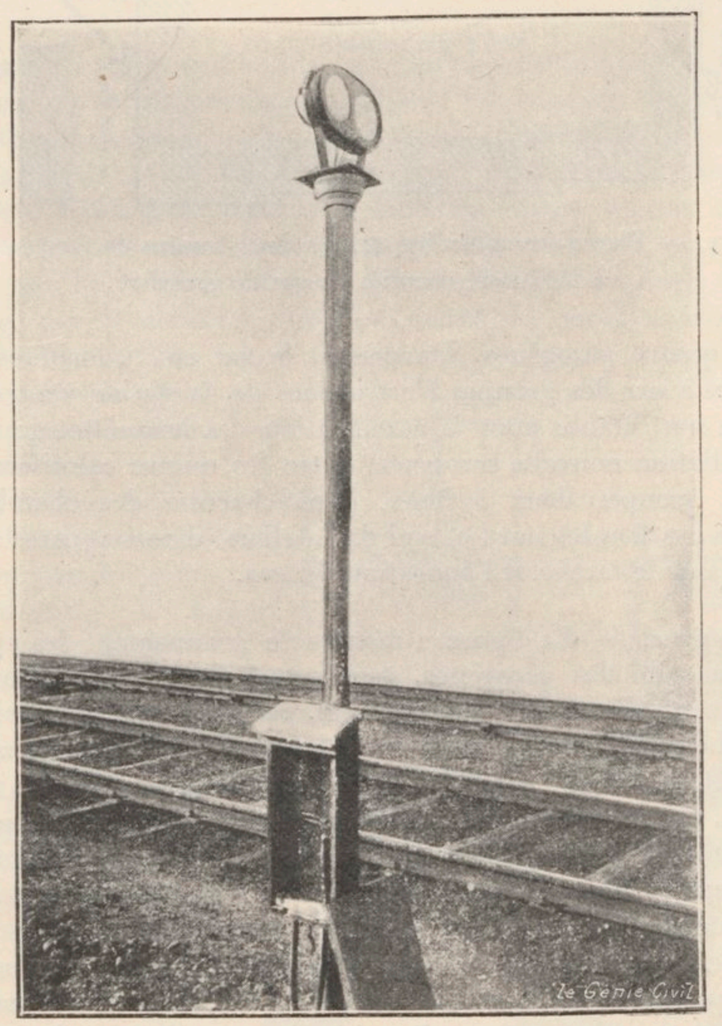

Fig. 5. — Vue d'un répétiteur lumineux de signaux.

Aménagement des répétiteurs lumineux. — Ils sont placés sur la gauche de la voie à laquelle ils s'adressent, à 1m 50 du rail contigu, leurs feux se trouvant à 2 mètres au-dessus du rail, c'est-à-dire à peu près au niveau de l'œil du mécanicien.

Ces feux sont placés dans une lanterne à deux compartiments portant : l'un, un verre jaune orangé, et l'autre, un verre vert.

La figure 5 donne une vue de ces répétiteurs. La lanterne est orientée de telle sorte que l'axe du faisceau lumineux émis par l'une ou l'autre des lampes vienne recouper l'axe transversal du rail contigu, à 15 mètres du pied du mât du répétiteur (fig. 4). Si le répétiteur doit se trouver sur le quai d'une station, il est monté sur une petite potence.

L'éclairage électrique est assuré par deux lampes (une dans chaque case de la lanterne); un puissant réflecteur est placé derrière les lampes.

Les lampes à filaments métalliques, de 10 bougies, fonctionnent sous 35 volts environ et 0,4 ampère par circuit.

Les filaments métalliques ont donné des résultats très supérieurs à ceux en carbone, notamment en cas de brouillard diurne, car c'est alors la forme du filament métallique qui apparaît aux yeux du mécanicien. La consommation est également plus faible, et ces deux avantages justifient le prix d'achat plus élevé de ces lampes.

Le courant provient d'une batterie d'accumulateurs établie à chaque poste de signaleur, ce qui rend chacun de ces postes indépendant d'un accident à la source d'électricité, et lui donne une réserve propre permettant d'assurer l'éclairage des répétiteurs pendant quelques heures.

Mais les brouillards étant exceptionnels, il était indispensable d'avoir l'assurance que, lorsqu'ils se produiraient, la batterie serait en bon état et susceptible de fonctionner.

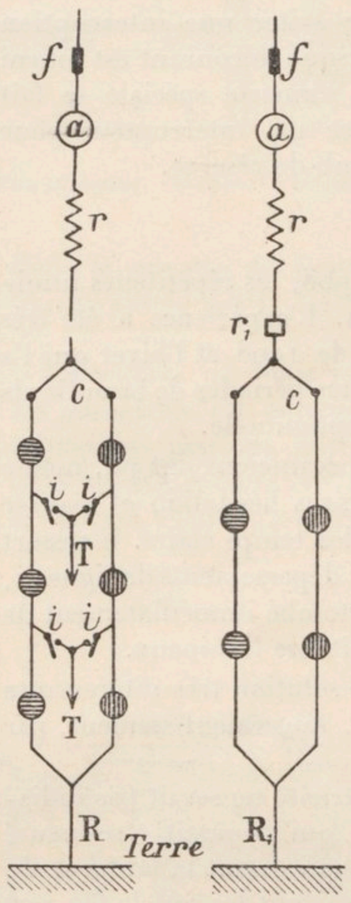

Fig. 6. — Connexions des répétiteurs lumineux.

R, répétiteurs du signal avertisseur à distance; — R_1, répétiteurs du signal d'arrêt; — T, prises de terre; — *a*, appareils de contrôle; — *c*, commutateurs; — *f*, fusibles; — *i*, interrupteurs; — *r*, résistances; — r_1, résistance compensatrice.

Les hachures horizontales représentent les feux verts, les hachures verticales représentent les feux jaunes.

A cet effet, la batterie est utilisée d'une façon permanente pour la manœuvre électrique des signaux avertisseurs à distance, manœuvre qui, d'ailleurs, ne nécessite qu'une très faible dépense d'énergie : 3,8 ampères-heure par signal et par jour, sous 120 volts. Ces batteries sont formées de 60 éléments Tudor, et leur capacité a été calculée de façon à pouvoir assurer sans rechargement la manœuvre des signaux avertisseurs pendant trois jours au moins. En cas de brouillard, la batterie permet de manœuvrer ces signaux pendant un jour et d'assurer l'éclairage des répétiteurs lumineux pendant plusieurs heures.

Le montage des lampes des répétiteurs lumineux est très simple : ainsi que l'indique le schéma (fig. 6), les lampes éclairant les feux de même couleur des trois répétiteurs du signal avertisseur sont montées en série et ces deux séries sont mises en dérivation sur un circuit de 120 volts.

Pour les deux feux répétiteurs du signal d'arrêt, les connexions sont identiques, mais pour permettre l'emploi des mêmes lampes sur toute la ligne, une résistance de compensation a dû être intercalée dans le circuit.

Un commutateur *c*, actionné par la palette même du signal répété, produira l'allumage, soit des feux verts, soit des feux jaunes, lorsqu'un interrupteur principal, non représenté sur la figure 6, aura été placé dans la position voulue pour mettre en service les répétiteurs.

Dans le poste du signaleur, le tableau de distribution est muni de petites lampes à feu vert et de petites lampes à feu jaune, qui doivent s'éclairer en même temps que les répétiteurs et permettent de contrôler le fonctionnement de ces derniers.

Enfin, il faut noter que des interrupteurs à ressort *i* permettent de faire l'essai des lampes et évitent la visite de toutes les lampes si une seule est dérangée. Toutefois, ce dispositif n'a pas été monté sur le circuit des lampes du signal d'arrêt, car il présentait moins d'intérêt, ce signal n'étant précédé que de deux répétiteurs.

*

Recharge des batteries d'accumulateurs. — Le courant de charge des batteries d'accumulateurs a été demandé à trois usines d'électricité existant aux deux extrémités de la ligne : à Schaerbeck, près Bruxelles, à Berchem, près d'Anvers, et à Malines, sensiblement au milieu de la ligne. La batterie la plus éloignée se trouve à 10^{km} 780 de l'usine qui l'alimente. Chacune de ces usines a été dotée d'un groupe transformateur d'une puissance suffisante pour recharger toutes les batteries en même temps, pendant une heure, en supposant la charge quotidienne.

Chaque batterie est reliée par des conducteurs d'aller et de retour à l'usine électrique dont elle dépend, car il n'était pas possible d'envisager la charge en série des diverses batteries, chacune d'elles devant avoir le pôle négatif à la terre, condition imposée pour la sécurité de la manœuvre des signaux, et en particulier afin d'éviter que des contacts de fils n'occasionnent des fonctionnements irréguliers. Les batteries sont chargées journellement pendant une heure environ, au moment d'une période de chômage de l'usine d'électricité.

Lorsque le brouillard nécessite la mise en service des répétiteurs lumineux, ceux-ci sont alimentés, pendant les cinq premières heures de fonctionnement, par la batterie d'accumulateurs ; après cinq heures, le courant est fourni par l'usine d'électricité, dont le transformateur est alors mis en marche. Mais avec les lampes à filaments métalliques, à faible consommation, la batterie suffirait à assurer leur éclairage pendant dix heures, et le brouillard ne persiste jamais si longtemps.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des tableaux de distribution ; signalons simplement que pour éviter une interruption d'éclairage, si un plomb vient à sauter lorsque le courant est fourni aux lampes par le transformateur, une sonnerie spéciale se fait entendre et il suffit alors de manœuvrer un interrupteur pour mettre immédiatement en circuit un plomb de réserve.

*
* *

Depuis leur mise en service, en juin 1908, les répétiteurs lumineux ont donné des résultats excellents. L'expérience a été très concluante dès le début, car l'automne de 1908 et l'hiver qui l'a suivi ont été marqués par de très fréquentes périodes de brouillards très intenses et ayant une persistance exceptionnelle.

Grâce aux répétiteurs lumineux, les mécaniciens ont pu, même par les plus forts brouillards, marcher sans hésitation et réaliser facilement les mêmes vitesses que par les temps clairs. Il ressort des statistiques que le nombre annuel des dépassements de signaux, sur la ligne de Bruxelles à Anvers, est tombé immédiatement de 43 à 2 depuis la mise en service des répétiteurs lumineux.

L'État Belge a donc mis au point une solution très intéressante du problème de la circulation des trains, sans ralentissement, par les temps de brouillard.

Il faut d'ailleurs remarquer que l'électricité ne serait pas indispensable pour l'éclairage des répétiteurs, qui pourrait être assuré au moyen du gaz et même du pétrole, en munissant la lanterne du répétiteur d'un écran mobile masquant, suivant les cas, le feu vert ou le feu jaune. L'éclairage électrique lui-même pourrait être réalisé sans l'intermédiaire de la batterie d'accumulateurs, qui complique un peu les installations, car un manque de courant ne serait jamais qu'exceptionnel et, en tout cas, ne compromettrait pas la sécurité.

P. D.

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

LE CHAUFFAGE, AU GAZ DE GAZOGÈNE,

des ateliers des Chemins de fer prussiens, à Delitzsch.

(Planche XII.)

La force motrice nécessaire aux ateliers des Chemins de fer prussiens, construits à Delitzsch, gare située à 20 kilom. de Leipzig, étant produite par des moteurs à gaz de gazogène, on a été naturellement conduit à recourir, pour le chauffage de ces ateliers, à des appareils utilisant également le gaz pauvre. L'emploi de ce gaz paraissait d'ailleurs, dans ce cas, d'autant plus avantageux que la distance entre la station génératrice et les ateliers à chauffer est relativement considérable et aurait exigé l'installation, pour le transport de la vapeur, de conduites soigneusement calorifugées et, par conséquent, coûteuses.

Les locaux à chauffer se composent (fig. 1) d'une halle ayant 235 mètres de longueur et 118^{m} 25 de largeur à son extrémité méridionale ; elle est divisée en une halle de montage, un atelier de tours, un atelier pour le travail du bois, une bourrellerie, une menuiserie, un atelier de vernissage et un séchoir, les deux derniers de ces ateliers étant entièrement isolés des autres, pour éviter que les poussières ne puissent y pénétrer et ne se déposent à la surface des objets vernis, pendant leur dessiccation.

Pour chauffer cette halle, on a installé, sur chacune de ses deux façades nord et sud, un groupe de deux calorifères à air chaud chauffés au gaz, et alimentés par des conduites venant de la station des gazogènes, située à 70 mètres plus loin, dans la direction de l'est ; ces conduites ont respectivement 0^{m} 30 à 0^{m} 35 de diamètre. L'air est refoulé dans les calorifères par des ventilateurs, qui le prennent directement dans les ateliers, puis distribué dans la halle, après réchauffage, au moyen d'un réseau de conduites aériennes alimentant des manches obliques dirigées vers le sol et s'arrêtant à 3 mètres de hauteur environ. Un des calorifères du groupe nord est spécialement réservé au chauffage de l'atelier de vernissage, pour éviter d'y envoyer les poussières aspirées dans les autres locaux.

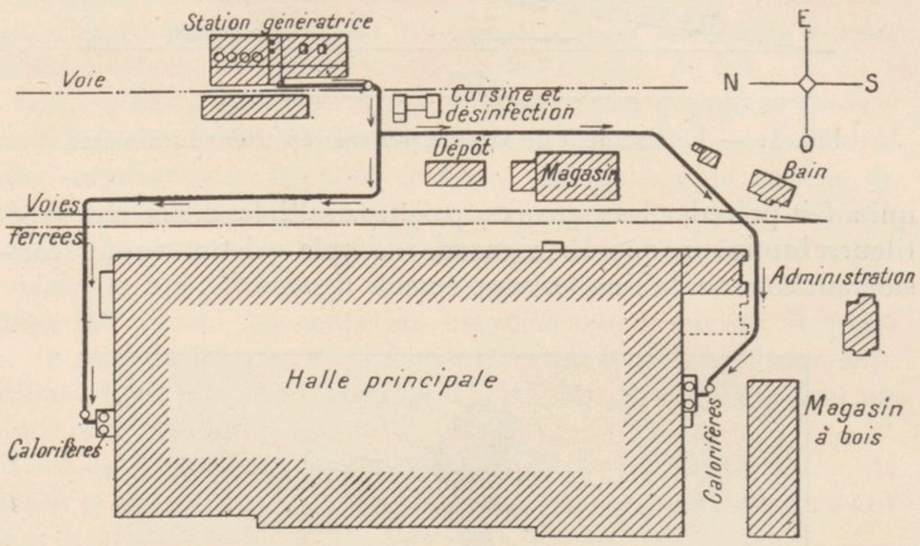

Fig. 1. — Plan d'ensemble des ateliers des Chemins de fer prussiens, à Delitzsch, chauffés au gaz de gazogène.

Les quatre gazogènes, fournissant le gaz aux calorifères et aux moteurs à gaz des groupes électrogènes de la station centrale, des ateliers sont établis pour la gazéification des briquettes de lignite. L'installation nouvelle comporte, outre les quatre calorifères à air chaud, groupés deux à deux, dans chacune des chambres de chauffe des façades nord et sud des ateliers, divers appareils accessoires pour le lavage et l'épuration du gaz.

Gazogènes. — La figure 2 montre le groupement des appareils dans la salle des gazogènes, tandis que la figure 3 donne une coupe verticale de l'un des groupes, par les axes des divers appareils. Les gazogènes G sont du type aspirant, et à deux zones de combustion ; le gaz produit traverse successivement, dans chaque groupe, un séparateur de poussières faisant en même temps fonction de réchauffeur d'air, puis un scrubber S, et finalement un épurateur-sécheur à sciure de bois R, à la sortie duquel il passe dans la conduite collectrice L, qui le délivre aux moteurs par les branchements M et M', ou aux ventilateurs X_1 et X_2 commandés électriquement par des moteurs de 15 chevaux. Ces derniers le refoulent dans la conduite D_1 raccordée, par le joint hydraulique de sécurité F, aux canalisations desservant les calorifères. Les quatre gazogènes sont, de plus, rendus solidaires par une première conduite reliant entre eux les épurateurs R et aboutissant à un ventilateur V_1, permettant de ventiler ces appareils, lors des visites d'inspection, ou d'y aspirer l'air pour leur remise en service. Une seconde conduite D aboutissant au ventilateur V_2 sert à l'évacuation des poussières, qui se dégagent pendant le décrassage des grilles, et un embranchement E de cette conduite relie ce ventilateur aux quatre hottes, très larges, surmontant les gazogènes et recueillant les fumées qui peuvent s'échapper accidentellement par les couvercles de ceux-ci. Enfin, l'installation comprend un réservoir à gaz auxiliaire B, relié au joint hydraulique de sécurité F, et servant pour le réglage du niveau de l'eau dans ce dernier, comme nous l'expliquerons plus loin.

L'un des gazogènes est représenté en coupe axiale sur la figure 3. Les briquettes de lignite, chargées sur sa grille par le couvercle supérieur, y subissent une distillation dans la région supérieure de la cuve, et les produits de cette distillation, brûlés au contact de l'air admis par *f*, sont ensuite entraînés du haut en bas, à travers la colonne de combustible en ignition, pour aboutir finalement au conduit annulaire de prise de gaz *a*. La gazéification de ce combustible s'achève ensuite, quand le coke parvient dans la région inférieure de la cuve du gazogène. Un volant *b* permet d'agiter les barreaux de la grille, sur les deux faces de laquelle s'ouvrent les deux portes de décrassage *d*, pour les cendres, et *e* pour les mâchefers. Le complément d'air servant à la gazéification du coke, dans la partie inférieure, est admis et réglé par le conduit *c*. La vapeur d'eau indispensable au fonctionnement régulier de l'appareil et au refroidissement de la grille est fournie, en majeure partie, par l'humidité naturelle du combustible employé et, pour le reste, par le cendrier que l'on maintient constamment plein d'eau.

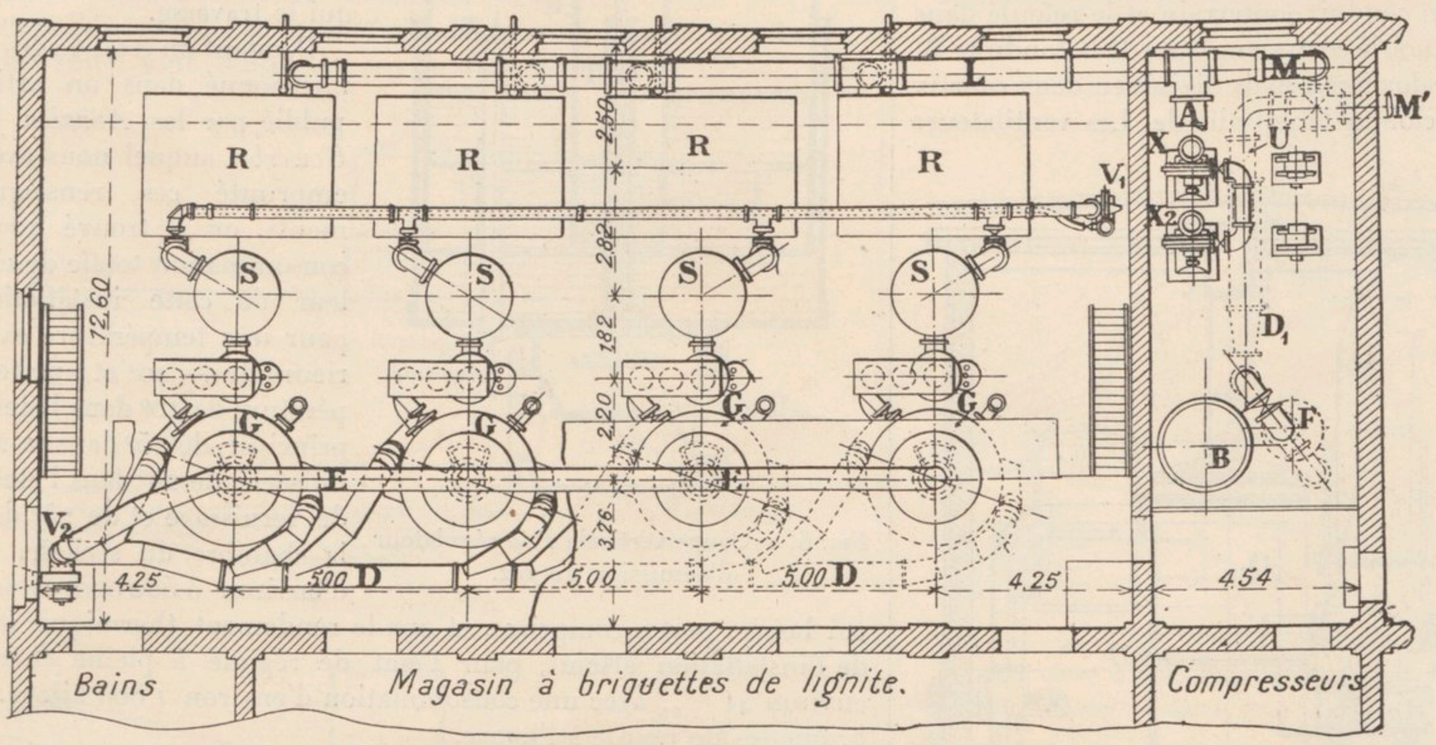

Fig. 2. — Plan de la salle des gazogènes, montrant les quatre appareils installés, avec leurs accessoires.

A la sortie du gazogène, le gaz très chaud se rend dans le réchauffeur d'air qui est fermé, à sa partie inférieure, par des joints hydrauliques *i* et *k*. Le second de ces joints hydrauliques fait, de plus, fonction de laveur-séparateur de poussières, et sert d'amorce pour la conduite allant au scrubber. La cheminée d'évacuation des produits de la combustion ou du gaz inutilisable, pendant les périodes de mise en train ou de ralentissement du gazogène, est représentée en *g* et est munie, à sa base, d'un obturateur à boulet *h*; enfin *m*, *n* et *o* sont des rigoles dans lesquelles s'écoule le trop-plein du cendrier et des deux joints hydrauliques *i* et *k*, et qui reçoivent, en outre, les eaux de condensation qui se rassemblent aux points bas des conduites de l'installation. Le gaz traverse ensuite le scrubber, puis l'épurateur à sciure.

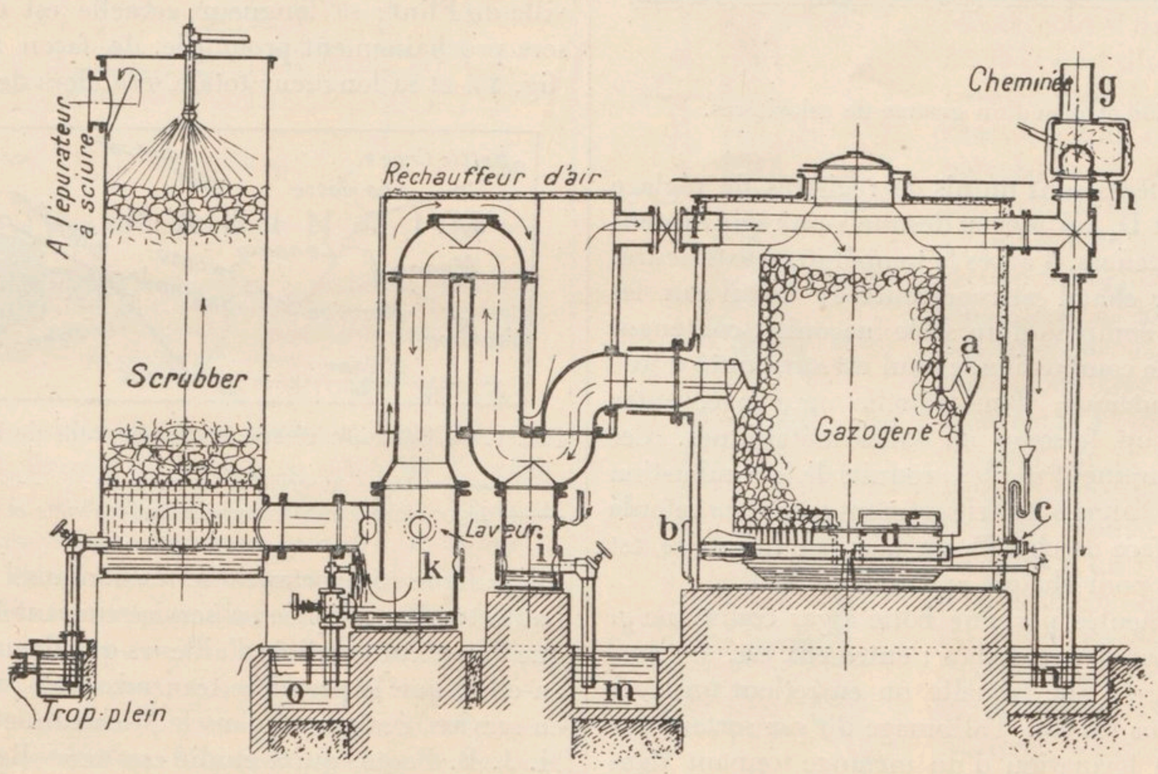

Fig. 3. — Coupe longitudinale d'un gazogène et des appareils accessoires.

A l'entrée de la conduite principale allant aux appareils de chauffage et qui contient du gaz sous pression, on a disposé un joint hydraulique de sûreté, représenté en coupe sur la figure 3 (pl. XII), pour rendre impossible tout retour d'air par cette conduite, dans laquelle les moteurs, branchés en parallèle avec elle sur les gazogènes, pourraient créer une certaine dépression, pendant les périodes d'arrêt du ventilateur V_1 (fig. 2).

Le gaz refoulé par ce ventilateur entre dans cet appareil par la conduite centrale C, et passe dans la conduite de distribution, en refoulant devant lui l'eau séjournant entre les deux tubes concentriques C et D, sur une hauteur H mesurant sa pression. Par contre, aussitôt que la pression dans C cesse de se faire sentir, l'équilibre entre les plans d'eau en dehors et en dedans du tube D, se rétablit, et le niveau de l'eau, remontant dans D, ferme la communication entre le tube C et la conduite maîtresse de la distribution.

Pour que cet appareil fonctionne régulièrement et avec certitude, il faut toutefois que la quantité d'eau contenue dans la cuvette du joint reste constante, et c'est pour réaliser cette condition qu'on fait constamment arriver de l'eau dans cette cuvette et qu'on règle le niveau de cette eau, au moyen d'un trop-plein logé dans le tube *t*, dans lequel on envoie du gaz sous une pression exprimée par la différence (*x* sur la figure 3, pl. XII) entre le niveau effectif A et le niveau normal du liquide contenu dans la cuvette du joint. Le gaz sous pression admis dans *t* est fourni par le petit réservoir B de la station des gazogènes (fig. 2).

Calorifères. — Nous avons dit plus haut que le gaz produit par les gazogènes est amené par des conduites aux deux groupes de calorifères disposés sur les deux façades nord et sud de la halle principale. Ces deux groupes comprennent chacun deux calorifères à air chaud chauffés au gaz, deux ventilateurs refoulant l'air dans ces calorifères et ensuite dans les conduites de chauffage, et deux régulateurs d'admission du gaz aux calorifères. Les deux installations ne sont, toutefois, pas entièrement semblables.

Dans les groupes de la façade sud (fig. 4 et 5), les calorifères O_1 et O_2 sont alimentés en gaz par la conduite G, et en air par les deux ventilateurs v_1 et v_2 actionnés par les moteurs électriques M_1 et M_2 absorbant chacun 15 chevaux.

L'air déplacé par ces ventilateurs est pris directement dans la salle des calorifères, dans laquelle il rentre par la baie F s'ouvrant sur la halle principale adjacente. L'air réchauffé dans les calorifères est ensuite ramené dans cette halle, par la conduite en tôle B, qui se subdivise ensuite pour former les conduites de chauffage des ateliers.

Chaque calorifère est muni d'une cheminée S_1 ou S_2 et d'un régulateur d'admission du gaz R_1 ou R_2, ce dernier servant à arrêter instantanément l'arrivée du gaz, en cas d'arrêt des ventilateurs, pour prévenir un échauffement exagéré des tubes de ces calorifères, et à régler cette admission de gaz d'après le débit d'air chaud des conduites alimentées par lui. On voit, en outre, sur les figures 4 et 5,

les vannes D, les registres d_1 et d_2, les poutres t qui portent les cheminées, et les haubans z qui maintiennent celles-ci.

Dans la chambre des calorifères de la façade nord (fig. 1 et 2, pl. XII), nous retrouvons les mêmes organes, bien qu'un peu autrement disposés, savoir : les calorifères O_3 et O_4, leurs ventilateurs V_3 et V_4 actionnés par les moteurs M_3 et M_4, et leurs régulateurs R_3 et R_4 ; mais les deux calorifères ont ici des conduites d'adduction d'air distinctes. L'un de ces calorifères O_3 est réservé au chauffage de l'atelier de vernissage, tandis que l'autre contribue à chauffer l'atelier principal. Le ventilateur V_3 aspire l'air dans l'atelier de vernissage, par un conduit souterrain et le refoule dans le calorifère O_3, puis dans la moitié correspondante de la conduite B, qui est commune aux deux calorifères, mais divisée en deux canaux entièrement isolés par une cloison longitudinale. Les ventilateurs

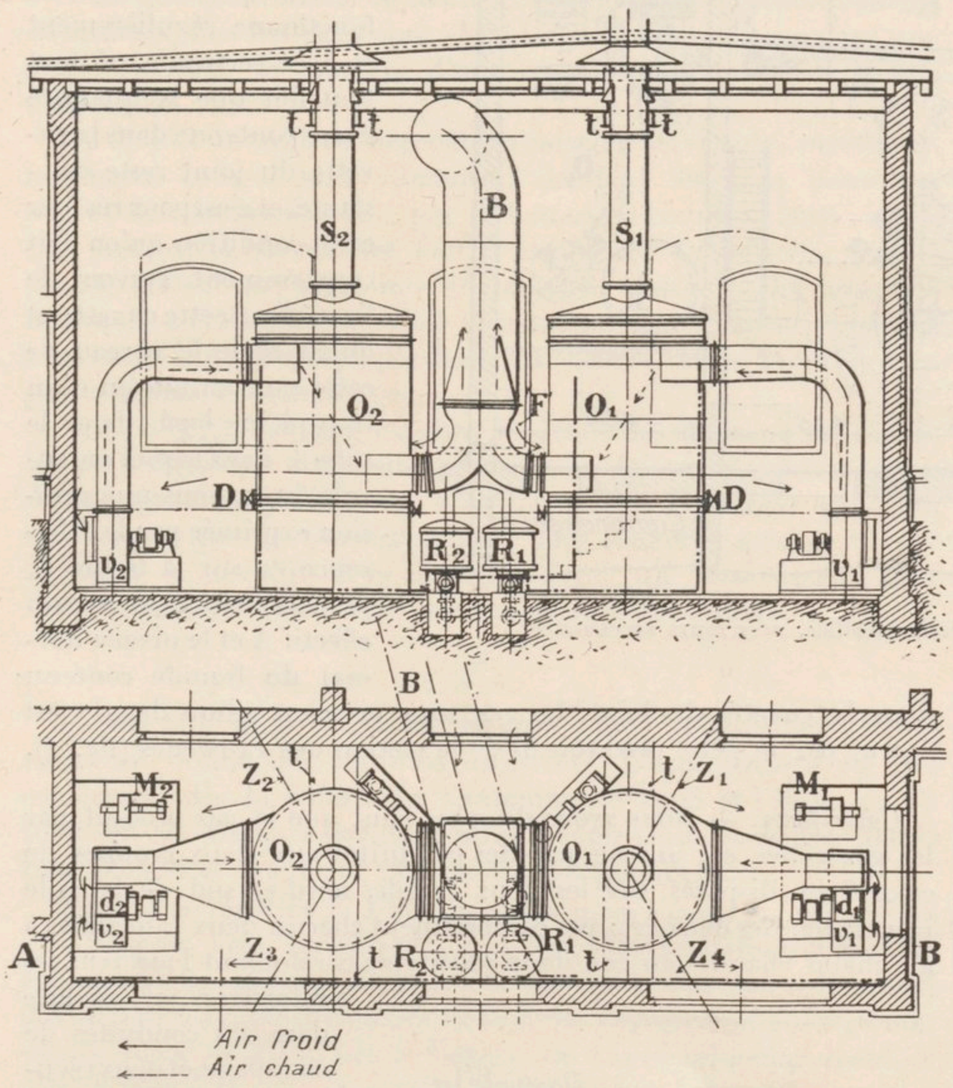

Fig. 4 et 5. — Élévation et plan d'un groupe de calorifères.

des deux groupes de calorifères sont munis de registres de réglage du débit d'air D_1, D_2, D_3 et D_4, au moyen desquels on règle l'intensité du chauffage dans les ateliers, d'après la température extérieure.

L'un des calorifères à air chaud est représenté en détail sur les figures 4 à 6 (pl. XII). Il se compose d'un socle maçonné, contenant les brûleurs et la chambre de combustion, et qui est surmonté d'une enveloppe métallique cylindrique, dans laquelle on a logé, entre deux plaques tubulaires, un faisceau de tubes métalliques. Ces tubes sont chauffés intérieurement par les produits de la combustion provenant des brûleurs et baignés extérieurement par l'air refoulé par le ventilateur. La surface de chauffe du faisceau tubulaire est d'environ 90 mètres carrés pour chaque appareil.

Les brûleurs b sont alimentés par une boîte à gaz commune g, et peuvent être examinés par des regards s ; entre eux est, de plus, disposée une grille auxiliaire z sur laquelle on entretient un léger feu, pour assurer, dans tous les cas, l'allumage du gaz sortant par les brûleurs et prévenir la formation d'un mélange tonnant dans la chambre de combustion.

L'air nécessaire à la combustion du gaz arrive par les soupapes de réglage d, passe sous la plaque tubulaire inférieure qu'il refroidit en se réchauffant, et entre dans la chambre des brûleurs, par un conduit central également réchauffé par la flamme de ces brûleurs. Les produits chauds de la combustion du gaz passent dans les tubes h par des trous ménagés dans la voûte de la chambre de combustion et aboutissent finalement à la cheminée, après avoir abandonné la plus grande partie de leur chaleur à l'air qui entre par F dans la chambre C, et s'en échappe par S.

La figure 6, enfin, donne une coupe axiale du régulateur d'admission du gaz dans les brûleurs de ces calorifères. Il est formé d'une cuvette, dans laquelle flotte une cloche h rendue solidaire (par l'intermédiaire d'une tige g abritée contre l'eau par un fourreau l, et d'une seconde cloche k plus petite), d'une soupape intercalée dans la conduite de gaz. Un tube r débouchant au-dessus du plan d'eau dans la cloche h, y amène l'air sous pression refoulé par le ventilateur, et cette pression réglant, à chaque instant, l'admission du gaz, proportionne, par conséquent, la quantité de chaleur dégagée dans le calorifère au volume d'air qui le traverse.

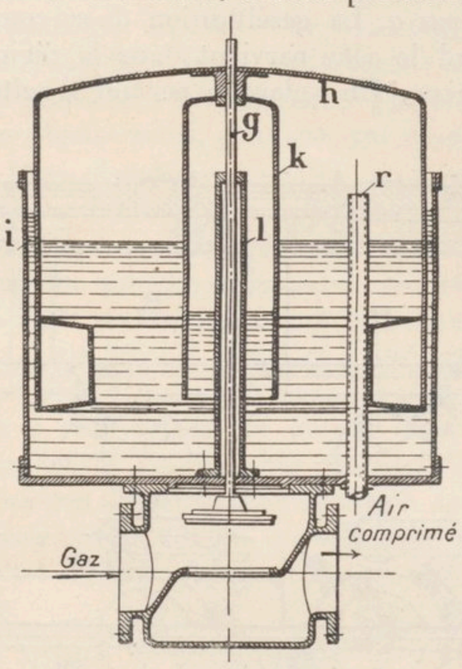

Fig. 6. — Coupe verticale d'un régulateur d'admission du gaz.

Pendant un essai de durée, mentionné dans un article publié par les *Annalen für Gewerbe*, auquel nous avons emprunté ces renseignements, on a trouvé que la consommation totale de chaleur de cette installation, pour une température extérieure de — 20° et une température de 10° dans l'atelier principal, de 15° dans la menuiserie, de 20° dans l'atelier de vernissage et de 25° dans la chambre du séchoir, est d'environ 3 500 000 calories par heure, pertes comprises, et que le rendement thermique total de l'installation atteint, pour l'état de régime à pleine charge, environ 41 %, avec une consommation d'environ 1 800 kilogr. de briquettes de lignite à l'heure.

ÉLECTRICITÉ

LA TRANSMISSION A 140 000 VOLTS DU MICHIGAN et l'usine hydro-électrique de Cooke.

Une ligne de transport de force électrique à 140 000 volts vient d'être mise en service dans le Michigan (É.-U.), entre l'usine hydro-électrique de Cooke, construite sur la Sable River, et la ville de Flint ; sa longueur actuelle est de 201 kilom., mais elle sera prochainement prolongée, de façon à atteindre Battle Creek (fig. 1), et sa longueur totale sera alors de 378 kilom. C'est la pre-

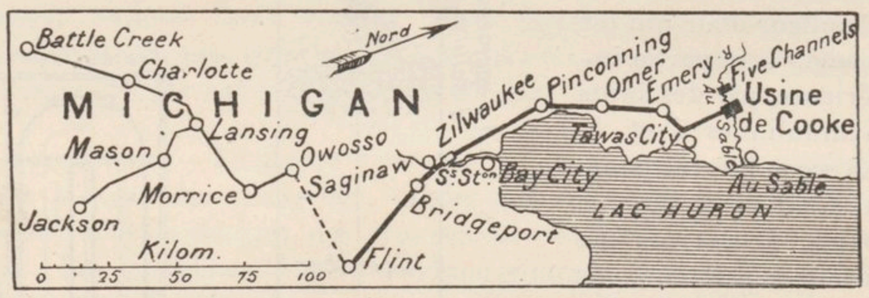

Fig. 1. — Carte du réseau à 140 000 volts de la « Au Sable Electric C° ».

——— Ligne en service à 140 000 volts ; - - - - Ligne en construction ;
——— Ligne actuellement en service à 40 000 volts et devant être raccordée au réseau.

mière ligne comportant une tension aussi élevée. Jusqu'ici, la plus haute tension adoptée en service courant était celle de 110 000 volts, que l'on n'avait réalisée d'ailleurs que depuis cinq ans. C'est en 1907, en effet, que la première transmission à 110 000 volts a été mise en service, également dans le Michigan, et c'est le même ingénieur, M. J. B. Foote, qui a étudié ces deux lignes. La plus importante transmission à 110 000 volts est celle de la Province d'Ontario, qui a été décrite récemment dans le *Génie Civil* (1). Nous allons donner quelques détails sur la nouvelle ligne du Michigan et sur l'usine qui l'alimente, appartenant à la « Au Sable Electric C° », d'après l'*Electrical World*, du 13 avril, et l'*Engineering News*, du 16 mai.

Usine hydro-électrique de Cooke. — Cette usine est la première d'une série de stations qui doivent être établies sur la Sable River, pour alimenter le réseau ; la seconde usine est déjà en construction à Five Channels, à 13 kilom. en amont de la première (fig. 1). La Sable River a un cours régulier, ses débits minimum et maximum

(1) Voir le *Génie Civil*, t. LX, n° 23, p. 449.

sont de 30 et de 100 mètres cubes par seconde. Le barrage-réservoir établi pour alimenter l'usine a une superficie d'environ 780 hectares, et reçoit les eaux d'un bassin de 4 250 kilom. carrés. Le barrage a été construit en terre, par la méthode du remblayage hydraulique; le déversoir *d* est en béton armé, ainsi que les bassins de mise en charge *a*, qui lui sont accolés (fig. 2 à 4). Le déversoir est surmonté de vannes cylindriques *e*, permettant de régler l'écoulement. Un mur *h*, formant lui-même déversoir auxiliaire, constitue, au-dessous du déversoir *d*, un bassin où s'amortit la chute de la lame d'eau. La hauteur de chute utilisée est de $12^m 20$.

Les turbines sont placées au fond des bassins de mise en charge, et, par suite, sont complètement immergées (fig. 2). Chacun des

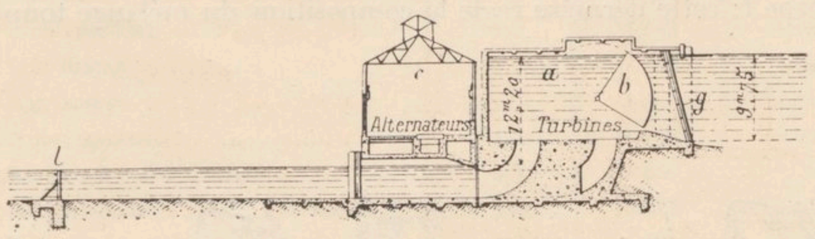

Fig. 2. — Coupe AB.

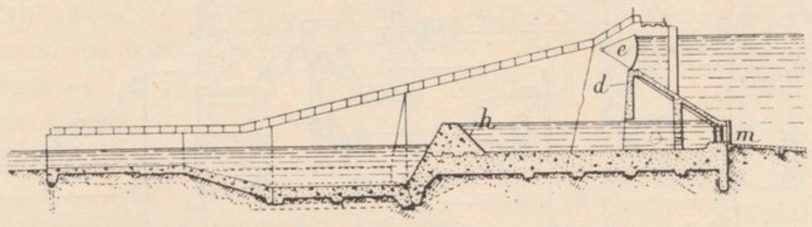

Fig. 3. — Coupe CD.

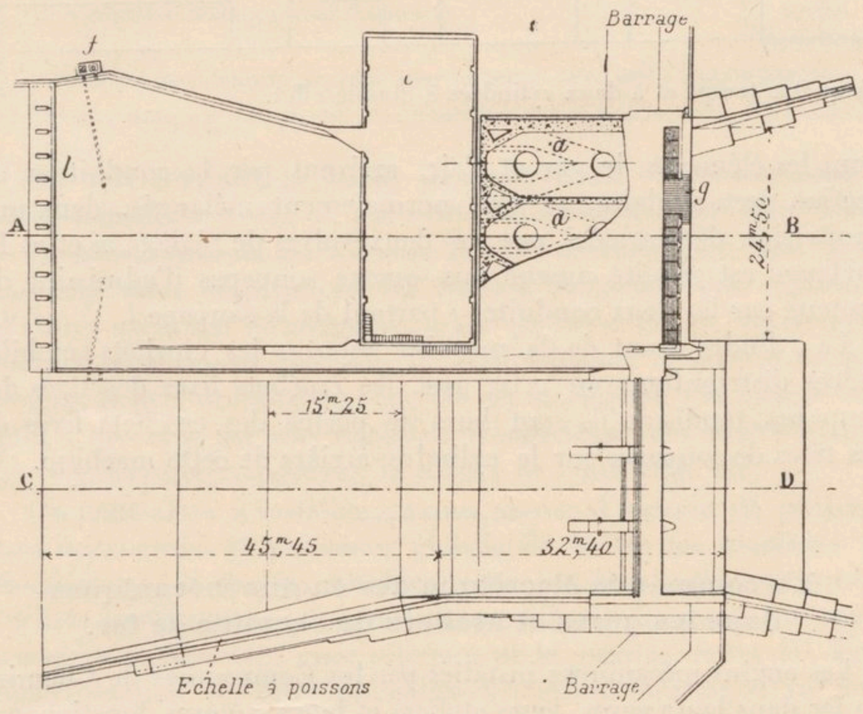

Fig. 2 à 4. — Coupes verticales et plan de l'usine hydro-électrique de Cooke.

a, bassin de mise en charge, contenant les turbines; — *b*, vannes cylindriques, système Taintor; — *c*, salle des machines; — *d*, déversoir du barrage; — *e*, vannes, système Taintor, du déversoir; — *f*, poste de jaugeage; — *g*, grilles de protection des bassins; — *h*, déversoir auxiliaire; — *m*, vannes provisoires.

trois bassins contient deux groupes de deux turbines, montées sur le même arbre, qui traverse le mur du bassin et celui de la salle des machines pour actionner directement un alternateur. Chaque bassin peut être fermé en amont par une vanne cylindrique, système Taintor (fig. 5 et 6); il se vide alors, et l'on peut accéder aux turbines. Chacune de ces vannes se compose d'un rideau cylindrique, en tôle, porté par des tiges radiales qui viennent se fixer sur deux moyeux, articulés à un arbre horizontal qui traverse le bassin. A la partie inférieure, la vanne porte une pièce de bois qui vient s'appuyer sur un seuil en fonte scellé dans la maçonnerie, pour former joint. Sur les côtés, se trouvent des bandes de caoutchouc qui rendent étanches les joints latéraux. Les vannes sont manœuvrées à l'aide de chaînes fixées à la partie inférieure, et s'enroulant autour de tambours placés au-dessus du bassin; les deux tambours d'une même vanne sont montés sur le même arbre, actionné par un moteur de 5 chevaux. C'est, paraît-il, la première fois que cette disposition a été appliquée aux États-Unis.

Le canal de fuite des turbines a été disposé de façon à permettre des mesures de rendement. A l'extrémité de ce canal se trouve une rangée de piliers *l*, entre lesquels on peut déplacer des vannes dont le bord supérieur constitue un déversoir. Des tubes communicants permettent de lire le niveau de l'eau dans une fosse *f* (fig. 4) où se trouvent des échelles graduées avec précision.

Les turbines, du type quadruplex, développent une puissance de 4 150 chevaux, sous une hauteur d'eau de $11^m 60$. L'arbre, en acier au nickel, est fait en trois sections; les quatre rotors de chaque turbine sont en fonte, avec des aubes en acier au nickel. Le régulateur est à huile sous pression. Un frein mécanique est disposé directement sur l'arbre de chaque turbine, dans le bassin de mise en charge; il est commandé à la main, à l'aide d'un mécanisme s'étendant hors du bassin. Le rendement des turbines a été de 89 % à pleine charge et de 79 % à mi-charge.

Chaque groupe de deux turbines actionne un alternateur triphasé de 3 000 kilowatts, à 2 500 volts, et une excitatrice de 32 kilowatts. Trois transformateurs, à bain d'huile, à refroidissement par l'eau, de 3 000 kilowatts chacun, élèvent la tension de 2 500 à 140 000 volts. Les enroulements sont connectés en triangle, à la fois sur la haute et sur la basse tension. Chaque cuve de transformateur a une section de $1^m 50 \times 3^m 35$ et une hauteur de $4^m 40$; le poids total d'un transformateur, en ordre de service, est d'environ 43 tonnes. Les interrupteurs sont à bain d'huile, établis pour une intensité de 100 ampères par phase, bien que l'intensité normale soit seulement de 21 ampères environ; leur commande se fait à la main. Les passages des câbles au travers des murs se font dans des tubes entourés d'une série de disques de porcelaine.

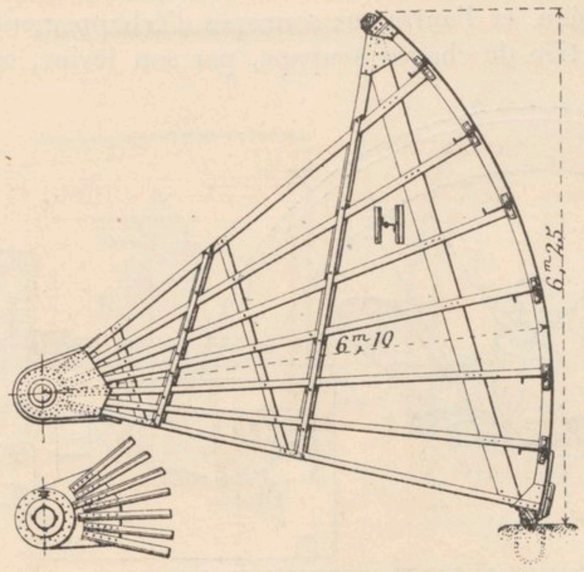

Fig. 5 et 6. — Coupe d'une vanne système Taintor et détail de son articulation.

Ligne de transmission. — La ligne de transmission se compose de trois câbles de cuivre de $9^{mm} 5$ de diamètre, suspendus à des traverses de part et d'autre des pylônes (fig. 7). Les deux conducteurs placés du même côté d'un pylône sont espacés de $3^m 65$ et sont distants chacun de $5^m 30$ du troisième conducteur. Ils sont suspendus chacun à une chaîne de dix isolateurs en porcelaine, de $1^m 60$ de longueur totale. Les pylônes du type courant ont environ 17 mètres de hauteur totale, ils ont une section triangulaire et sont constitués principalement de cornières en acier galvanisé. Les pylônes sont espacés d'environ 160 mètres, et, avec cette portée, la flèche est d'environ $3^m 65$. Aux changements de direction de la ligne, les pylônes ont les mêmes dimensions, mais sont construits avec des profilés de plus fort échantillon. Le poids d'un pylône du type courant est d'environ une tonne, et il peut supporter un effort de 800 kilogr. à l'attache de chaque câble. La ligne traverse la Saginaw River entre deux pylônes de 51 mètres de hauteur, espacés de 145 mètres, et qui portent en plus une ligne triphasée à 20 000 volts, et une ligne à 10 000 volts.

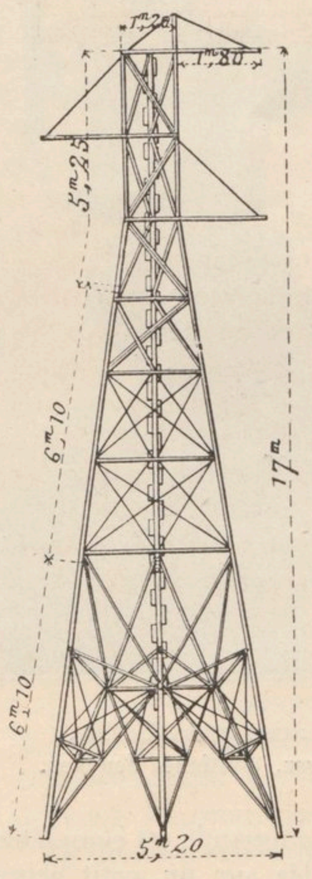

Fig. 7. — Élévation d'un pylône triangulaire du type courant.

Actuellement, une sous-station est établie à Zilwaukee, à 136 kilom. de l'origine de la ligne, où le courant est ramené de 140 000 à 20 000 volts, pour être distribué aux villes de Saginaw et Bay City. La ligne est actuellement limitée à Flint, et une section de 48 kilom., de Flint à Owosso est en construction. Elle doit relier le premier tronçon au reste du réseau figuré sur la carte (fig. 1), qui fonctionne actuellement à 40 000 volts, mais a été établi pour pouvoir supporter la tension de 140 000 volts.

P. C.