

# LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS B. ARTHAUD, Succ<sup>r</sup> de J. REY, GRENOBLE

Pour la Rédaction :  
S'adresser à M. P. PAGNON  
Secrétaire Général

19, Boulevard Gambetta, 19  
GRENOBLE

Abonnement { France..... 40 francs  
pour une Année { Étranger..... 50 francs

Le Numéro : 7 francs

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

Pour les Abonnements et Annonces :  
S'adresser à M. B. ARTHAUD

Editeur

23, Grande-Rue, 23  
GRENOBLE

## COMITÉ DE DIRECTION SCIENTIFIQUE

**BARBILLION**, Professeur titulaire d'Electrotechnique a la Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble.

**CAMICHEL**, Directeur de l'Institut Electrotechnique de Toulouse.

**CHALUMEAU**, Ingénieur en chef de la ville de Lyon.

**DARRIEUS**, Ingénieur des Arts et Manufactures.

**DUVAL**, Directeur des Services électriques de la Société Générale d'Entreprises.

**FLUSIN**, Directeur de l'Institut d'Electrochimie et d'Electrometallurgie de Grenoble.

**GENISSIEU**, Ingénieur en chef au Ministère des Travaux Publics

**GRIGNARD**, Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences Directeur de l'Ecole de Chimie Industrielle de l'Université de Lyon.

**MAUDUIT**, Directeur de l'Institut Electrotechnique et de Mécanique appliquée à Nancy.

**MERCIER**, Administrateur-Délégué de l'Union d'Electricité.

**DE PAMPELONNE**, Inspecteur général du Génie Rural.

**PARODI**, Directeur honoraire des Services d'Electrification de la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans

**PEPEY**, Professeur à la Faculté de Droit de Grenoble.

**PAGNON**, Ingénieur I. E. G., Secrétaire général.

## SOMMAIRE

**HYDRAULIQUE.** — Tuyaux en tôle mince, frettés à fils d'acier, pour conduites forcées, par M. MONTEUX, ancien élève de l'Ecole Polytechnique. — Installation d'accumulation hydraulique du Lac Noir, par E. JAQUET.

**ELECTRICITÉ.** — Le problème actuel des perturbations radioélectriques d'origine industrielle. Cas particulier des parasites imputables au matériel de traction électrique — Congrès international d'électricité, Paris, 1932 (*Suite et fin.*). — La récente session de la Conférence internationale des Grands Réseaux électriques.

**DOCUMENTATION.**

**LÉGISLATION.** — Le mois Fiscal. — Les administrateurs-délégués et directeurs et l'impôt sur le revenu des valeurs mobilières, par Roger et Jacques LEFEBVRE.

**INFORMATIONS.** — **BIBLIOGRAPHIE.**

## HYDRAULIQUE

### Tuyaux en tôle mince, frettés à fils d'acier, pour conduites forcées

par M. MONTEUX, Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

#### I

Dans une usine hydroélectrique, la conduite forcée joue un rôle essentiel, elle en est l'artère au sens propre du terme. Elle doit présenter tout un ensemble de qualités, qui impose des sujétions à la construction et des règles à la mise en place. Son établissement est coûteux. Avec les méthodes et procédés en usage, c'est-à-dire tels qu'ils ont été appliqués jusqu'ici, on compte comme prix moyen, 5.000 fr. la tonne, dont 3.000 pour les seuls tuyaux et 2.000 fr. pour la pose. Le tonnage d'une conduite, appréciation courante, varie de 1.000 à 3.000 tonnes ; la dépense s'élève donc de 5 à 15 millions. C'est là un poids lourd qui va peser sur l'usine, et, par suite, sur le prix de revient du kilowatt, prix aujourd'hui jugé très élevé et qu'il est nécessaire de réduire.

Il est donc d'un intérêt majeur d'abaisser le plus possible le coût de cette installation. On y parvient par le *tuyau à tôle mince fretté à fil d'acier*.

Ce système repose à la fois sur l'utilisation d'un métal à très haute résistance (fil) et sur le mode d'enroulement, qui permet par le « frettage rectangulaire », d'en obtenir le rendement maximum. Nous en avons exposé les principes dans le *Génie Civil* (12 mai 1928-8 octobre 1932) et la théorie ainsi que la mise en œuvre ont été développés dans la *Revue Industrielle* de janvier à juin 1931.

Nous allons montrer ici, par des considérations nouvelles, les actions et réactions qui se développent dans le « tube-tôle » et le « frettage à fil », quand la pression intérieure croît de 0 à la rupture du tuyau. Ce sera mettre en évidence les propriétés du dispositif et sa puissance qui, étant obtenue avec le minimum de moyens, conduit à des *réductions impressionnantes de tonnage*.

#### II

D'une façon générale, on connaît les caractéristiques du frettage à fil ; il est employé couramment en artillerie. Parmi ses diverses applications, il n'en est pas de plus indiquée que celle

aux tuyaux pour conduites forcées, en y apportant, toutefois, les modifications qui tiennent à la différence des échelles, du régime et du mode d'action.

À la tôle, l'effort demande dans les conduites hydroélectriques, ne doit pas dépasser 8 kg., tandis que nous composons notre frettage, en fils de 3 mm de diamètre, répondant aux conditions suivantes :

Rupture .....	170 kg.
Elasticité.....	140 à 150 kg.
Allongement à la rupture .....	2 à 3 %

et auxquels nous pouvons demander des efforts moyens de 50 à 70 kg.

La tôle, métal inférieur, doit être éliminée au profit du fil, métal supérieur. Son épaisseur, dans nos tuyaux, variera de 5 mm. à 10 mm. au maximum.

Dès que, sous la pression intérieure, la tôle doit avoir plus de 5 mm., le frettage entre en action, d'abord avec un seul rang de fil, puis 2, 3, etc..., leur nombre augmentant avec la puissance. On voit la généralité du système, il s'applique à toutes les chutes, des moyennes aux plus puissantes, ses avantages s'accroissant à mesure que croissent les pressions et les diamètres. Dans une conduite, il s'étendra sur toute la longueur, de l'origine au collecteur. Ce n'est donc pas un expédient de renforcement de résistance, c'est un système régulier et général d'établissement, suivant un mode précis et des règles déterminées.

### III

La tôle, dans notre tuyau, est dans des conditions toutes spéciales et qui doivent être mises en évidence. Comprise entre la pression intérieure et la compression du frettage, elle est à l'état contraint. A tout allongement de la tôle correspond un égal allongement des fils, celui-ci limitant celui-là, et comme nos fils, à la rupture, sous 160 à 170 kg., ne s'allongent que de 2 à 3 %, notre tôle ne pourra jamais s'allonger davantage. Elle sera donc à l'abri de toute rupture, puisque celle-ci ne peut se produire que sous un allongement de 30 à 35 %. La sécurité est donc absolue. Le tuyau ne peut périr que par le frettage. Toutes les sujétions imposées à la tôle, notamment sa limite de travail n'ont plus de raison d'être ici. Grâce à ce soutien; une imperfection de la tôle, quelque improbable qu'elle soit sur une aussi faible épaisseur, ne peut avoir de conséquence, parce que jamais elle ne peut être en amorce de rupture.

Voyons comment se comporte notre tôle sous des pressions intérieures :

A chaque tension de notre tôle correspond une pression intérieure supérieure à celle qui l'amènerait à cet état, si elle était libre; il y a donc accroissement de la puissance du tuyau, c'est là une propriété du frettage.

Au repos, la tôle est comprimée par les fils en tension, supposons à — 20 kg., les tensions vont diminuer progressivement, passer par 0, puis devenir positives. Elles sont proportionnelles aux allongements jusqu'à la limite élastique qui correspond à 23 kg. Au delà, les allongements sont permanents et les tensions augmentent peu à peu, jusqu'à 25 kg., correspondant à l'allongement de 3 % sous lequel le frettage se rompt. Nous pouvons demander couramment à notre tôle de telles fatigues, mais, en pratique, nous resterons dans la zone élastique et ne dépasserons pas 1 % d'allongement.

Notre tôle a un rayon d'action positive qui s'étendra jusqu'à 25 kg. et si elle est partie de — 20 au repos, son travail total sera de 44 kg., effort qu'on ne peut envisager ailleurs et utilisation du « métal-tôle » que, seul, notre système de frettage à fil peut permettre.

Dans la résistance du tuyau, notre tôle entrera par son épaisseur, multipliée par 23 kg. Si sa paroi est de 6 mm. à 10 mm., l'effort sera représenté par :

$$6 \text{ mm.} \times 23 \text{ kg.} = 138 \text{ kg.}, \text{ ou}$$

$$10 \text{ mm.} \times 23 \text{ kg.} = 230 \text{ kg.}$$

Faisons deux remarques :

- Notre tôle contrariée dans son extension est soumise à un véritable mandrinage; cette opération élève sa limite d'élasticité et sa limite de rupture par le matage de la matière.
- Si nous dépassons la limite d'élasticité, cas tout à fait rare (très haute chute, très puissant coup de bélier), la paroi intérieure s'allonge de 1% et vu sa minceur et la grandeur relative du diamètre, on peut considérer les allongements permanents comme s'étant propagés régulièrement jusqu'à l'extérieur, notre « tube-tôle » se trouve automatiquement auto-fretté, avec tous les avantages résultant de l'opération, ici, réelle de l'auto-frettage, telle qu'elle est indiquée et se pratique en artillerie.

Donc notre système nous permet de demander effectivement au « métal-tôle », le maximum de rendement, mais quelque agrandi que soit son rôle, son action est toujours secondaire à côté de celle du frettage, en qui réside réellement la résistance.

RÉSISTANCE. — La résistance du frettage dépend du nombre des couches d'enroulement.

Avec nos fils de 3 mm. de diamètre, à section de 7 mm. 1, le nombre des spires est, par mètre, 333, ce qui représente une frette de 2 mm. <sup>2</sup> 360 d'épaisseur en acier à 160 kg. à l'élasticité et 170 kg. à la rupture.

La puissance du frettage croît donc proportionnellement au nombre de frettes et, par suite, peut atteindre toute grandeur donnée.

Prenons, par exemple, un tuyau de 1 m. de diamètre avec tôle de 6 mm. et à un rang de fil, la résistance à la rupture sera :

$$\text{Pour la tôle : } 6 \text{ mm.} \times 23 \text{ kg.} = 138 \text{ kg.}$$

$$\text{Pour la frette : } 2 \text{ mm. } 360 \times 160 \text{ kg.} = 378 \text{ kg.}$$

$$\text{Total : } 516 \text{ kg.}$$

qui équilibre l'énergie intérieure, c'est-à-dire le rayon multiplié par la pression  $\omega$ , on a :

$$500 \omega = 516$$

$$\text{d'où} \quad \omega = 1 \text{ kg. } 03.$$

Nous pouvons ainsi former le tableau suivant des pressions à la rupture :

*Pressions de rupture* (diamètre 1 m., tôle 6 mm.)

Nombre de frettes	Pression de rupture	Epaisseur de la paroi
1	1 kg. 030	9 $\frac{m}{m}$
2	1 kg. 700	11 $\frac{m}{m}$
3	2 kg. 540	13 $\frac{m}{m}$
4	3 kg. 300	15 $\frac{m}{m}$
5	4 kg. 000	17 $\frac{m}{m}$
6	4 kg. 800	20 $\frac{m}{m}$
7	5 kg. 560	23 $\frac{m}{m}$

Dans ces conditions, on peut considérer la garantie comme absolue, car on peut prendre tel coefficient que l'on voudra. Une rupture du tuyau est réellement impossible; ainsi se trouve écartée la catastrophe qui en est la conséquence. Nul dispositif ne peut présenter pareil élément de sécurité.

**TONNAGE.** — Dans le tableau précédent, nous avons donné l'épaisseur de la paroi correspondant à chaque tuyau, avec tôle de 6 mm. Le même tuyau avec tôle de 10 mm. et, par exemple, 5 rangs de fil, dont la rupture se produirait sous 420 atmosphères, aurait une paroi de 22 mm.

On peut déjà se rendre compte de l'économie en poids que présente notre tuyau sur ceux en simple tôle ou en tôle bandagée. Une conduite aménagée en anneaux comprend une première partie en tôle simple jusqu'à la hauteur de chute qui exige une épaisseur de 3 à 4 cm. et au delà les tuyaux ont même épaisseur de tôle, renforcée par des frettes très rapprochées. La tôle seule de ces tuyaux est plus du double de notre paroi entière (tôle et fil) dont l'épaisseur maxima est de l'ordre de 20 mm. aux plus fortes pressions.

Mais cette économie en poids ne résulte pas seulement du dispositif même, mais encore du mode de calcul de l'établissement des conduites qui en est la conséquence. Suivant les errements actuels, la pression de régime est prise 1,25 de la pression statique et il faut y ajouter la hauteur due à la surpression imposée.

Soit, par exemple, une chute de 600 m. avec 15 % de surpression, la conduite sera calculée sur une chute de 860 m.

Avec le frettage à fil et suivant un de ses principes fondamentaux et une règle absolue, la conduite sera toujours établie sur la hauteur réelle de chute, ici 600 m.

Cela tient à l'état spécial de notre tôle, ainsi que nous l'avons expliqué et à l'écart considérable qui sépare forcément le travail de nos fils en régime de marche, qui est de 40 à 60 kg., de leur limite d'élasticité et de rupture, qui est de 140 à 160 kg., écart qu'une surpression même de 100 % ne peut combler.

En fait, on peut admettre que notre tonnage est de 30 à 50 % inférieur à celui des tuyaux en tôle ou en tôle bandagée, et le pourcentage est d'autant plus accentué que la conduite est plus sévère.

Citons deux exemples :

Une conduite à pression moyenne, hauteur de chute 225 m., diamètre 2 m., voit son tonnage en tôle simple de 1.750 tonnes se réduire à 800 tonnes avec le tuyau à fil.

Une puissante conduite, chute 1.500 m., diamètres variables de 1.200 à 850 mm., a un tonnage environ de 2.800 tonnes en tôle bandagée et de moins de 1.300 tonnes avec notre tuyau.

Cette économie en poids se traduit par une économie en prix sensiblement du même ordre.

A cette économie principale, des économies secondaires viennent s'ajouter.

La fabrication du tuyau est simple et ne nécessite qu'un minimum de main-d'œuvre, son coût est inférieur à celui des tuyaux à anneaux. La légèreté en poids diminue le coût des transports et facilite les manipulations, les manœuvres, la mise en place, toutes choses qui se résument, en définitive, par une diminution des dépenses.

**FRETTAGE RECTANGULAIRE.** — La base fondamentale de notre système repose sur la réalisation du frettage, dont la tôle est l'appui, mais appui efficace, ainsi que nous l'avons expliqué.

Le frettage, à rendement maximum, doit remplir trois conditions :

- 1° Frettes infiniment minces. Elles sont ici de 2 mm. 364.
- 2° En acier à haute résistance. Nos fils sont à 170 kg. à la rupture, 160 à l'élasticité.
- 3° Travail des fils au même taux sous les pressions intérieures. Nous obtenons cette troisième condition par l'enroulement

des fils en tensions variables, suivant une loi dont nous avons établi la formule (voir *Revue Industrielle*, mars 1931).

Cette loi est unique : Il n'y a donc qu'un seul mode de pose. Nous avons nommé ce dispositif « frettage rectangulaire », comme étant la figure géométrique de la représentation des tensions.

Seul, ce frettage à fil peut remplir les trois conditions énoncées. Il est la réalisation de la résistance la plus puissante que l'on puisse mettre en action.

Comparé à l'auto-frettage, il lui est supérieur en ce sens, qu'il fait travailler les fils à un taux que ne peut aborder l'acier à canon, même à limite d'élasticité étendue, et qu'il les fait travailler tous également, tandis que, dans l'auto-frettage, la fatigue va, en diminuant de l'intérieur à l'extérieur, suivant une courbe de la famille de celles de Lamé.

Le frettage à fil ne donne effectivement que la résistance transversale, mais c'est la seule qui entre réellement en jeu dans les conduites forcées.

**Equations de conditions.** — Notre tuyau, comme tout système fretté, se présente sous deux états : sous tension - au repos.

Une analyse basée sur la théorie de l'élasticité et celle des tubes homogènes, permet d'en déterminer les éléments consécutifs. Cette méthode exige de longs calculs et manque de souplesse.

Des considérations uniquement mécaniques et algébriques conduisent à trois équations élémentaires, qui donnent rigoureusement les solutions cherchées.

La première représente l'équilibre sous pression, la deuxième l'équilibre au repos, la troisième l'égalité d'allongement à la surface de contact entre la tôle et le frettage.

Ecrivons ces trois équations.

Les données d'une conduite sont :

Le diamètre .....  $2\rho$   
La pression intérieure .....  $\bar{\omega}$

Les éléments constitutifs du tuyau sont : pour la tôle :

L'épaisseur .....  $h$   
La tension sous pression .....  $\theta$   
La compression au repos .....  $\theta'$

Pour le frettage :

L'épaisseur .....  $a$   
La pression sous tension .....  $t$   
La pression au repos .....  $t'$

soit 6 variables.

**Équilibre sous pression :**

Le travail de la pression est .....  $\bar{\omega}\rho$   
La résistance de la paroi est .....  $h\theta + at$

d'où l'équation d'équilibre :

$$h\theta + at = \bar{\omega}\rho \quad (a)$$

**Équilibre au repos :**

Tension du frettage .....  $at'$   
Compression de la tôle .....  $h\theta'$

d'où :

$$h\theta' = at' \quad (b)$$

**Égalité d'allongement :**

Allongement de la tôle .....  $\frac{\theta + \theta'}{\epsilon}$   
Allongement des fils .....  $\frac{t - t'}{e}$

$\epsilon$  et  $e$  = modules d'élasticité de la tôle et des fils,  
d'où :

$$\frac{\theta + \theta'}{\epsilon} = \frac{t - t'}{e}$$

ou :

$$(\theta + \theta') m = t - t' \tag{c}$$

en posant  $\frac{e}{\epsilon} = m$  avec  $e = 22.000$ ,  $\epsilon = 18.000$ ,  $m = 1,22$

Les figures A, B, C, sont les représentations géométriques de ces équations.

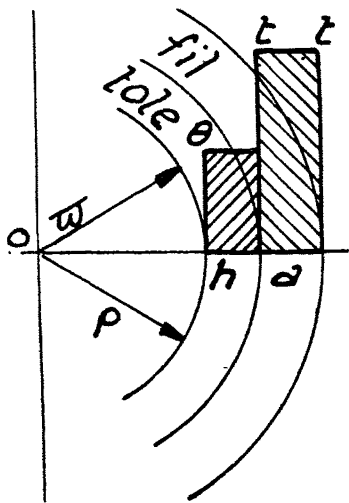


Fig. A.  
Représentation géométrique de l'équation A.

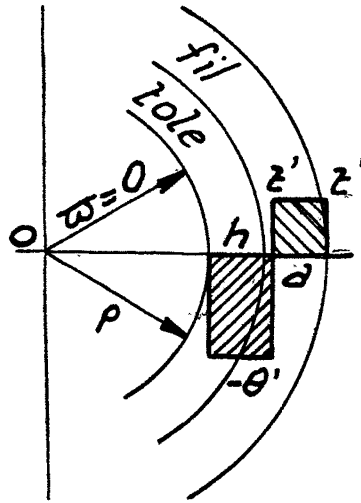


Fig. B.  
Représentation géométrique de l'équation B.

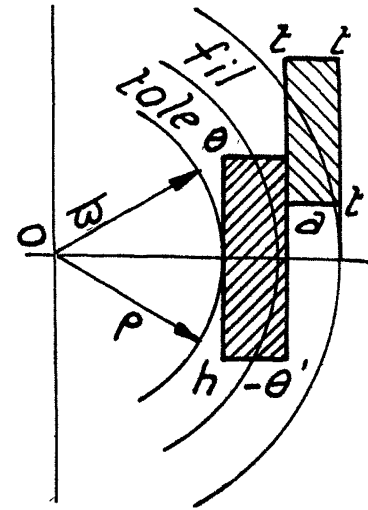


Fig. C.  
Représentation géométrique de l'équation C.

Si trois éléments sont donnés, les autres sont déterminés.

Il y a donc vingt combinaisons algébriquement possibles ; mais, parmi ces éléments, il y en a deux qui représentent les données principales : ce sont  $h$  l'épaisseur de la tôle et  $a$  l'épaisseur du frettage. Les autres concernant les pression, tension, compression, qui doivent rester dans des écarts de valeurs déterminées, sont les éléments de contrôle, suivant lesquels, on modifie dans un sens ou dans l'autre les épaisseurs et, par suite, les actions moléculaires. On arrive ainsi au tuyau qui répond le mieux aux conditions d'emploi, de technique et d'économie.

Les trois équations a, b, et c nous conduisent aux trois formes suivantes :

$$\theta + \theta' = \frac{\tilde{\omega} e}{am + h} \tag{1}$$

$$t - t' = \frac{m \tilde{\omega} \rho}{am + h} \tag{2}$$

$$(\theta + \theta') m = t - t' \tag{3}$$

L'égalité (1) est la relation entre les tensions  $\theta$  de la tôle et les pressions intérieures  $\tilde{\omega}$ ;

L'égalité (2) est la relation entre les tensions  $t$  du frettage et les pressions  $\tilde{\omega}$ .

L'égalité (3) est la relation entre les tensions  $\theta$  de la tôle et celles  $t$  des fils.

Les formules (1) et (2) montrent que  $(\theta + \theta')$  et  $(t - t')$  sont proportionnels à  $\tilde{\omega}$ ; mais cette proportionnalité cesse pour la tôle dès qu'on dépasse sa limite d'élasticité. Au delà, la tension de la tôle, dans le rayon de nos actions, peut être considérée comme constante et égale à 23 kg., ainsi que nous l'avons expliqué. La formule (1) n'est alors plus applicable. Il en est de même de la formule (2) qui admet également la continuité de

l'action de la tôle. Quand cette action cesse, l'effort ne se partage plus entre la tôle et les fils, il est supporté par le frettage seul.

Pour avoir alors la relation entre  $t$  et  $\tilde{\omega}$ , il faut revenir à l'équation d'équilibre (a) dans laquelle nous faisons  $h\theta = \text{constant}$ , ayant la valeur de 23 kg.

*Courbes représentatives.* — Faisons l'application de cette méthode et de ces formules, au cas concret du tuyau suivant :

Diamètre .....  $2\rho = 1 \text{ m. } 20$   
Pression.....  $\tilde{\omega} = 1 \text{ kg. } 200$

Nous nous donnons :

L'épaisseur de la tôle .....  $h = 8 \frac{m}{m}$   
La tension de la tôle .....  $\theta = 20 \text{ kg.}$   
L'épaisseur du frettage.....  $a = 11 \frac{m}{m} 8$

correspondant à 5 rangs de fil de  $3 \frac{m}{m}$ .

Les trois autres éléments nous sont donnés par les trois équations de condition :

$$a) 20 \times 8 + 11,8 t = \tilde{\omega} \rho = 600 \times 1,2 = 720$$

$$b) 8 \theta' = 11,8 t'$$

$$c) (20 + \theta') 1,22 = t - t'$$

d'où :  $t = 47 \text{ kg. } 5$      $t' = 8 \text{ kg. } 25$      $\theta' = -12 \text{ kg. } 4$

Nous avons ainsi l'état d'équilibre sous la pression 1 kg. et l'état d'équilibre au repos.

Ces états sont représentés fig. 1.

Cherchons les relations entre la tôle et le frettage depuis le repos ( $\tilde{\omega} = 0$ ) jusqu'à la pression de rupture.

La formule (1), avec nos notations, s'écrit :

$$26,8 \tilde{\omega} - \theta = 12,4$$

et la formule (2) :

$$t - 32,7 \tilde{\omega} = 8,25$$

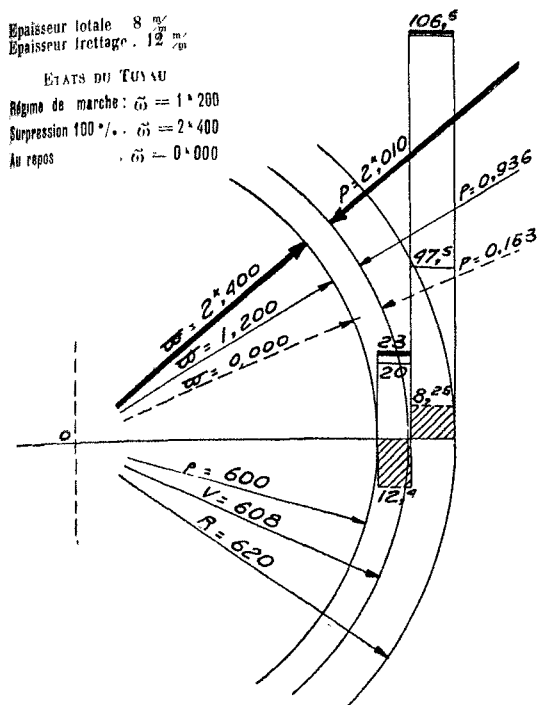
Ces formules ne sont applicables que jusqu'à la limite d'élasticité de la tôle que nous prenons égale à 23 kg. Faisons alors  $\theta = 23 \text{ kg.}$ ; les formules (4) et (5) nous donnent les valeurs limites correspondantes de  $\tilde{\omega}$  et  $t$  :

$$\tilde{\omega} = 1 \text{ kg } 32 \qquad t = 51 \text{ kgs } 41$$

Au delà, pour avoir les relations entre  $t$  et  $w$ , il faut revenir

Épaisseur totale  $8 \frac{m}{m}$   
Épaisseur frettage  $12 \frac{m}{m}$

ÉTATS DU TUYAU  
Régime de marche :  $\omega = 1'200$   
Surpression 100 % :  $\omega = 2'400$   
Au repos :  $\omega = 0'000$

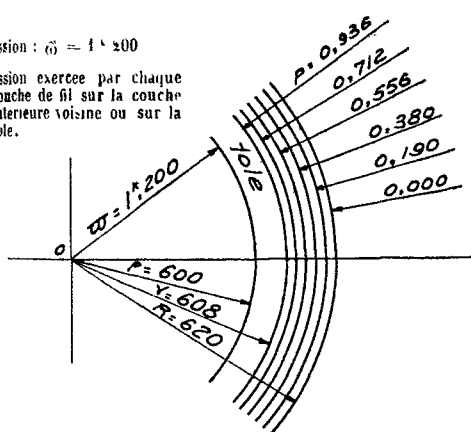


Graphique N° 1

Tuyau de tôle fretté en fil d'acier  
Diamètre : 1 m. 200

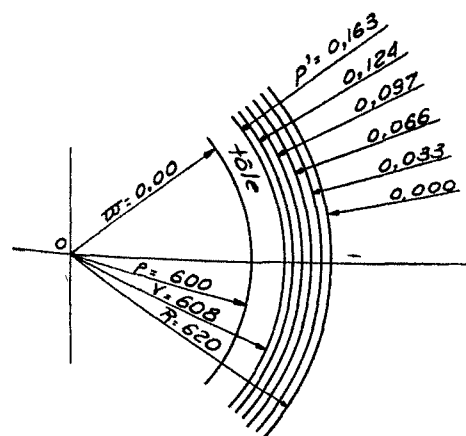
Pression :  $\omega = 1'200$

Pression exercée par chaque  
couche de fil sur la couche  
intérieure voisine ou sur la  
tôle.

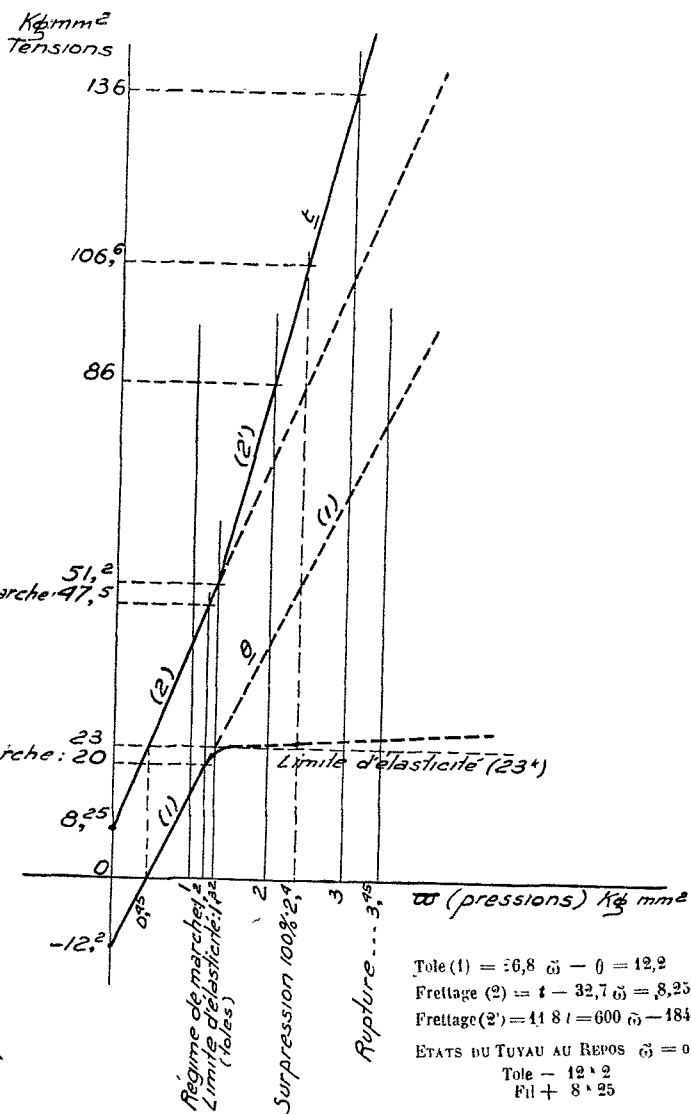


Graphique N° 3

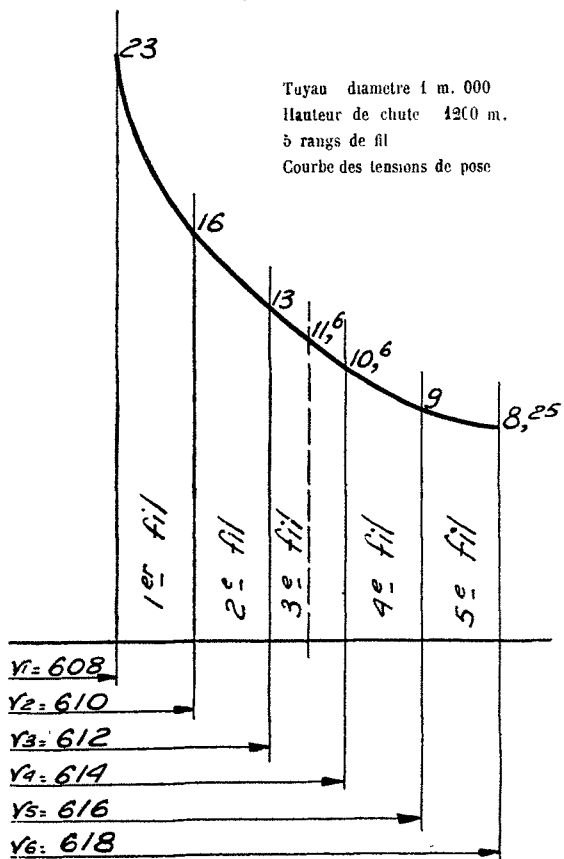
Tuyau diamètre : 1 m. 200  
5 rangs de fil de  $3 \frac{m}{m}$



Graphique N° 4



Graphique (N° 2) des tensions de la tôle et du frettage  
en fonction des pressions statiques



Graphique N° 5

comme nous l'avons dit, à la première équation. ( $a$ ) d'équilibre :

$$h \theta + at = \bar{\omega} \rho$$

où nous donnons à  $\theta$  la valeur constante de 23 kg. et à  $h \theta$  la valeur de  $8 \times 23$ ; cette équation s'écrit :

$$8 \times 23 + 11,8 t = 600 \bar{\omega}$$

avec  $\bar{\omega} \geq 1$  kg. 32.

Nous pouvons ainsi établir le tableau suivant qui nous permet de suivre les relations entre les pressions et tensions de l'état de repos à la rupture.

$\bar{\omega}$	$\theta$	$t$	
0,00	— 12,4	8,25	
0,10	— 9,6	11,52	
0,20	— 7,0	14,80	
0,30	— 4,4	18,	
0,45	0,00	23,	
1,00	14,5	41,	
— 1,2	20	47,5	régime de marche
— 1,32	23	51,40	limite d'élasticité de la tôle
1,50	23	60,6	
2	23	86,	
— 2,40	23	106,6	(100 % de surpression)
3	23	136,	
— 3,45	23	160,	rupture.

Le graphique (2) est la représentation de ces relations.

A la surpression de 100 %, la tension des fils 106 kg. est encore loin de sa limite d'élasticité 140 à 150. Le coefficient de sécurité est supérieur à 3.

Le croquis (1) donne les états du tuyau.

Au repos .....	$\bar{\omega} = 0$
En régime de marche.....	$\bar{\omega} = 1$ kg. 20
Sur 100 % de surpression.....	$\bar{\omega} = 2.400$ .

Le frettage comprendra 5 rangs de fil de 3 mm. d'une épaisseur de 11 mm. 8.

L'épaisseur totale est donc de  $8 + 11,8 = 20$  mm.

Les croquis (3) et (4) donnent la pression des fils en régime de marche ( $\bar{\omega} = 1$  kg. 2) et au repos ( $\bar{\omega} = 0$ ).

Le croquis (5) est la courbe des tensions de pose de chaque rang de fil, par lesquelles on obtient l'égalité des tensions sous pressions, constituant le « frettage rectangulaire ».

Le poids de 1 m. de ce tuyau est :

Tôle 237 kg. 358 kg., total = 595 kg.

qui doit représenter 30 à 40 % du poids d'un pareil tuyau établi en tôle bandagée.

La théorie du tuyau fretté à fil d'acier repose sur une analyse exacte de l'élasticité. Rien n'y est laissé à l'approximation ou à l'empirisme.

On suit le développement successif des actions respectives entre la tôle et le frettage sous les pressions croissantes jusqu'à éclatement.

Cet ensemble de propriétés réside principalement dans l'emploi d'un métal à la plus haute résistance et au dispositif en donnant l'utilisation au maximum de rendement.

## Installation d'accumulation hydraulique du Lac Noir

par E. JAQUET.

L'accumulation hydraulique par pompage est actuellement l'objet de plusieurs projets en France; l'installation des lacs Blanc et Noir dans les Vosges en est la première grande réalisation. La Société des Forces Motrices du Haut-Rhin avait déjà reconnu depuis de nombreuses années l'intérêt de combiner une usine travaillant au fil de l'eau sur le Rhin avec une installation d'accumulation par pompage; l'usine du lac Noir a été construite dans ce but, pour valoriser les résidus d'énergie de l'usine de Kembs construite par la Société Energie Electrique du Rhin, usine dont l'inauguration a eu lieu l'automne dernier, en présence du Président de la République.

A l'ouest de Colmar, presque sur la crête des Vosges, se trouvent deux bassins naturels, les lacs Blanc et Noir, ayant une différence de niveau d'environ 115 m. en moyenne et situés à une distance horizontale d'environ 1 km. l'un de l'autre. Le massif séparant ces deux lacs est entièrement en granit. Ces conditions locales favorables, ainsi que la proximité de réseaux de distribution importants, conduisirent à choisir cet endroit pour l'établissement d'une installation d'accumulation hydraulique par pompage. Au début des travaux, une nouvelle société a été constituée, la Société Hydro-Electrique des Vosges, avec siège social à Mulhouse, pour s'occuper de la construction et de l'exploitation de cette installation; cette Société a confié l'exécution des travaux de génie civil à un Consortium de trois grandes entreprises (Société des Grands Travaux de Marseille,

Société Maison Fougerolles Frères, Société Générale d'Entreprises).

### I. — GÉNÉRALITÉS.

Les figures 1 et 2 (1) représentent le plan et le profil de l'installation. L'eau venant du réservoir amont, le lac Blanc, passe par une galerie bétonnée de 5 m. 50 de diamètre et une conduite forcée de 4 m. 60, disposée en partie en galerie dans le rocher, puis, après avoir traversé les turbines, elle est restituée dans le bassin aval, le lac Noir. L'eau refoulée par les pompes parcourt le même circuit en sens inverse.

Les deux lacs, de formation glaciaire, avaient été aménagés antérieurement au moyen de barrages pour servir de réservoirs régulateurs aux ruisseaux Blanc et Noir. Après l'exécution de l'installation des lacs Blanc et Noir, les réserves annuelles constituées jusqu'à présent dans chacun d'eux, en vue de la régularisation de ces deux ruisseaux seront assemblés toutes deux dans le lac supérieur (lac Blanc).

En période d'exploitation, le niveau du lac Blanc subira d'une part des variations saisonnières qui suivront l'utilisation et la reconstitution périodique des réserves destinées à l'alimentation des ruisseaux Blanc et Noir, d'autre part, des variations journalières dues au va-et-vient entre les deux lacs des tranches d'eau utilisées pour l'exploitation de l'usine du lac Noir.

(1) Voir page suivante.