

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 58 (1932)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Tuyaux en tôle frettée en fil d'acier pour conduites forcées  
**Autor:** Monteux, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-44812>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

du Molard pour Grange-Canal et au delà à 12 h. 03, 12 h. 07, 12 h. 10, 12 h. 11 et 12 h. 15.

Les deux trains de 12 h. 10 et 12 h. 11 emmènent à eux seuls 300 voyageurs environ ; le coût total du matériel de tramway nécessaire se monte à 220 000 fr. (prix actuel du matériel neuf), soit 140 000 fr. pour deux motrices et 80 000 fr. pour quatre remorques ; ces deux trains sont desservis au total par 6 agents. Le matériel inutilisé le reste de la journée (1 motrice et 3 remorques) représente un capital de 130 000 fr. à amortir sur 1 500 000 km par voiture environ. Pour rendre au public les mêmes services, il serait nécessaire de disposer à ce moment de 6 autobus (coût 360 000 fr.) desservis par 12 agents. Le matériel inutilisé le reste de la journée (4 autobus) représenterait un capital de 240 000 fr. à amortir sur 350 000 km environ par autobus.

Ce cas n'est pas particulier à la ligne envisagée, mais se produit sur toutes les lignes urbaines de tramway.

#### *Peut-on envisager à Genève le remplacement des tramways par des autobus ?*

Les faits indiqués ci-dessus montrent qu'à Genève comme dans la plupart des autres villes, où les « pointes » de trafic sont très accusées, il est impossible de remplacer le tramway, dont la capacité est considérable, par un autre moyen de transport, si ce n'est le métropolitain, dont la capacité est plus grande encore, mais dont les frais d'établissement sont prohibitifs dans une ville de moyenne importance. Si même, par un décalage des heures d'entrée des bureaux et entreprises, et surtout de sortie à midi, on arrivait à atténuer considérablement les variations de trafic, ce qui faciliterait l'emploi d'autobus, on se trouverait encore en face du triple problème financier suivant :

1. Amortir les installations de tramways de la C.G.T.E., du G.V. et du C.C.R., entreprises qui sont concessionnées jusqu'en 1960 ;

2. constituer le capital nécessaire pour l'achat du matériel destiné aux services d'autobus (véhicules et installations, 8 000 000 de francs environ) ;

3. garantir les intérêts et l'amortissement de l'emprunt pour l'établissement des services d'autobus, que les résultats de l'exploitation ne suffiraient certainement pas à assurer.

Ces opérations ne peuvent évidemment pas être envisagées actuellement.

En revanche, chaque fois qu'il s'agit de créer des lignes nouvelles (Genève-Chêne-Jussy, Genève-Gy, etc.), l'autobus (ou le trolleybus) présentera toujours sur le tramway l'avantage de nécessiter des frais d'installation sensiblement moindres, ce qui pourra le faire préférer, indépendamment du fait que la souplesse des véhicules routiers permet à un service nouveau d'essayer divers parcours avant d'arrêter le tracé définitif.

#### *Expériences faites dans d'autres villes européennes.*

Remarquons qu'il n'existe en Europe aucune ville de moyenne importance (de 100 000 à 500 000 habitants) qui ait supprimé ses tramways urbains pour les remplacer par des autobus.

Quant aux grandes villes, si elles peuvent le faire, du reste très prudemment, c'est que des chemins de fer métropolitains leur permettent de faire face au trafic lors des fortes charges.

L'Italie vient de faire, en matière de transports en commun, deux expériences très intéressantes dans deux grandes villes non encore pourvues de chemins de fer métropolitains, Milan et Rome.

Grâce à des moyens financiers très puissants, on a pu remplacer la quasi totalité des voitures de tramways de Milan par

du matériel moderne ; toutes les voies ont été revisées et toutes les lignes ont été pourvues de la double voie. Ce réseau, qui donne entière satisfaction au public, peut être considéré comme l'un des plus parfaits existant actuellement.

A Rome, en revanche, on s'est décidé à remplacer, à l'intérieur de la vieille ville, les tramways par des autobus. Il ne semble pas que la sécurité de la circulation routière en ait été sensiblement accrue, car dans les rues souvent très étroites, la voie, fixant de façon claire la position de la voiture de tramway, constituait un repère utile. Au point de vue du public, d'autre part, la faible capacité des autobus par rapport au tramway entraîne leur surcharge presque continue, ce qui ôte tout confort au voyage et oblige souvent à attendre longtemps avant qu'il se présente une voiture ayant des places disponibles.

Au point de vue financier, enfin, les résultats ne sont guère favorables, et après une première augmentation du tarif il faudra prochainement en introduire une seconde.

Il n'est donc pas étonnant que la municipalité de Rome pousse activement l'étude d'un chemin de fer métropolitain.

Ces faits démontrent une fois de plus que, lorsqu'il s'agit d'un trafic urbain présentant des « pointes » accusées, seuls les métropolitains, dans les grandes villes, et les tramways dans les villes moyennes, permettent d'y faire face dans des conditions techniques et économiques acceptables.

#### *Programme d'ensemble appliqué par la Compagnie genevoise des tramways électriques.*

Tenant compte des faits énoncés plus haut, nous avons établi un programme d'ensemble que nous appliquons depuis plusieurs années, dans la mesure où les circonstances économiques le permettent, et qui peut se résumer comme suit :

1. Amélioration des services de tramways existants, en augmentant la fréquence (Exemples : lignes 1, 3, 5, 12, etc.) et la vitesse (Exemples : lignes 1, 9 etc.) ;

2. amélioration des conditions de circulation des tramways et des véhicules routiers par l'installation de doubles voies et de refuges aux arrêts des tramways ;

3. utilisation d'autobus chaque fois que les circonstances techniques et économiques le permettent. (Il existe dans le canton de Genève 90 km de lignes de tramways et 48 km de lignes d'autobus.)

#### **Tuyaux en tôle frettée en fil d'acier pour conduites forcées.**

Le « Bulletin technique de la Suisse romande » a, dans son numéro du 31 octobre dernier, publié sous la signature de M. Du Bois, un article sur le frettage à fil, appliqué aux tuyaux pour conduites forcées, suivant le système dont j'ai exposé dans la « Revue Industrielle » la théorie, les principes et les applications.

Avant de présenter cette importante question en son objet et ses modalités, je crois utile de passer en revue diverses assertions émises dans l'article précité et qui me paraissent peu justifiées.

Dans nos notices, pour la facilité de l'exposé, nous avons pris, comme exemple, un tuyau qui a été construit et essayé aux Etablissements *Bouchayer et Viallet* à Grenoble.

Les données suivantes, imposées par le constructeur, étaient :

Diamètre. . . . .	1,20 m
Epaisseur de la tôle . . . . .	6 mm
Longueur du tuyau . . . . .	6,50 m

La résistance a été obtenue par un frettage de 10,4 mm d'épaisseur, composé de 4 rangs de fil de 3 mm (limite d'élasticité 100, rupture 160) travaillant à 30 kg sous la pression de 0,600 kg et à 55 kg, sous la pression de 1,200 kg, c'est-à-dire avec 100 % de surpression.

L'épaisseur de 6 mm, a-t-on écrit, paraît faible en vue de la résistance aux tensions longitudinales. Or, dans une conduite forcée, ces efforts n'existent pas si l'axe est rectiligne et l'on se rapproche le plus possible de l'alignement droit ; s'il n'en est pas ainsi, la composante longitudinale des pressions provient uniquement des courbes et changements de pente.

L'on sait que si  $d$  est le diamètre de la conduite,  $p$  la pression unitaire,  $\alpha$  l'angle des rayons extrêmes, l'effort s'exerce vers l'extérieur suivant la bissectrice de l'angle et a pour valeur :

$$\varphi = 2p \frac{\pi d^2}{4} \sin \frac{\alpha}{2}.$$

On y résiste, s'il est nécessaire, par l'ancrage des coudes.

Remarquons que dans une conduite, l'épaisseur de la tôle diminue avec la pression ; il y aura toujours un moment où elle pourra, devra être de 6 mm. Dans le cas qui nous occupe avec l'acier employé chez Krupp (17,3 kg par mm<sup>2</sup>) une pareille épaisseur suffit jusqu'à la hauteur de chute de 170 m.

Enfin, si la conduite est enterrée ou plutôt semi-enterrée, solution que nous préconisons tout particulièrement, la question des tensions longitudinales disparaît.

*Quel avantage de poids présente le tuyau à fil ?*

M. Du Bois le comparant à un tuyau de même diamètre construit suivant les procédés Krupp, sur lesquels je reviendrai, l'acier travaillant à 17,30 kg, donne comme épaisseur 21 mm ; il y a là une légère erreur.

En appliquant la formule exacte de Lamé :

$$\theta = p \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2}$$

où  $\theta = 17,3$  kg,  $p = 0,6$  kg  $r = 600$  kg.

on trouve  $R = 624$ , soit une épaisseur de 24 mm.

Les poids respectifs sont alors par mètre :

Tuyau *Monteux* : 425 kg.

Tuyau *Krupp* : 720 kg, soit près du double.

Mais les constructions *Krupp*, *Thyssen*, *Ehrard*, diffèrent entièrement des usages français.

Employer des aciers spéciaux très résistants, percer à chaud un bloc de ce métal, puis l'étirer, le forger, et pour finir, tournage intérieur et extérieur, ce n'est plus du domaine de l'hydraulique, c'est du domaine de l'artillerie. Ce n'est plus un tuyau, c'est un canon que l'on fabrique.

En France, nous employons la simple tôle *Martin-Siemens*, qualité des Chemins de fer français, et la Société Hydro-technique nous impose 8 kg comme tension maxima.

Obtenir le renforcement de la résistance sans atteindre des épaisseurs prohibitives, sans l'emploi d'aciers spéciaux, sans des procédés d'usinage d'une autre catégorie, voilà le but !

Le frettage à fil, suivant les règles et méthodes d'application que nous avons exposées et préconisées, est la solution logique et rationnelle, qui permet de résister aux efforts quel que puissants qu'ils soient avec le minimum de moyens.

Et cette méthode simple, unique, ne s'impose pas seulement aux grandes chutes, mais également aux moyennes, à celles qui ne demandent que des épaisseurs de paroi de 5 à 6 mm. Elle est générale.

Le frettage à fil est connu, mais il n'a été appliqué jusqu'à ce jour qu'à la construction des bouches à feu ; il n'y a pas de raison pour ne pas en faire d'autres applications en modifiant, suivant les cas, les règles et les conditions d'emploi.

Les fils à haute résistance peuvent travailler à des taux interdits, non seulement à la tôle, mais aux meilleurs aciers. Sous les tensions de 40 à 60 kg, on est encore loin de la limite d'élasticité (100 kg), par suite on a une marge de sécurité bien supérieure à celle qu'on se réserve ailleurs.

Les fils du frettage ne doivent être posés qu'en tension. A cela, deux avantages capitaux :

En faisant varier les tensions initiales de chaque rang, suivant la loi que j'ai indiquée, on obtient le *frettage rectangulaire*, c'est-à-dire que tous les fils travaillent également. On utilise ainsi un *métal de résistance maxima au maximum de rendement*.

Sous l'action des fils, la tôle est en compression. On gagne tout l'effet de cette énergie emmagasinée. La tôle étant au repos à -22 kg et sous la pression statique à +8 kg, elle aura subi une variation de 30 kg, ce qu'elle n'aurait pu faire à l'état neutre.

Si la tôle n'était en compression, elle ne pourrait suivre en concordance les allongements des fils et elle se romprait avant que le frettage n'ait atteint la tension demandée.

De plus la tôle se trouve dans nos tuyaux dans un état particulier : comprise entre les pressions intérieures et la compression extérieure du frettage, à module d'élasticité élevé, elle subit l'opération du mandrinage, c'est-à-dire matage de la matière et par suite élévation de la limite d'élasticité et de la limite de rupture, d'où champ d'action qu'on ne peut envisager dans les autres tuyaux, quel qu'en soit le dispositif. Nous admettons que, dans ces conditions, on peut aller de -20 en compression, à +20 en tension en toute sécurité, soit un effort moléculaire de 40 kg.

Malgré ces limites étendues, l'action de la tôle dans nos tuyaux est toujours secondaire, la résistance réside presque tout entière dans le frettage et la compression joue un rôle important dans la répartition des tensions ; plus elle est forte, plus l'effort moléculaire se porte sur les fils.

Les qualités du système ne résident pas uniquement dans les avantages du tuyau vu seul. De nouvelles méthodes s'imposent dans l'établissement des conduites.

Principe fondamental et règle invariable :

Calculer les tuyaux sur la hauteur réelle de chute sans tenir compte de la surpression, quelle qu'elle soit.

Éliminer le plus possible la tôle, métal inférieur, au profit des fils, métal supérieur.

Le tuyau comprend 6 éléments variables : 3 pour la tôle et 3 pour le frettage, qui sont : épaisseur, tension sous pression, compression ou tension au repos.

Ces 6 éléments sont liés entre eux par 3 équations linéaires.

Si l'on se donne 3 éléments, les autres s'en déduisent. Il y a donc 20 combinaisons algébriques possibles, c'est-à-dire que l'on peut construire plusieurs tuyaux répondant aux données de la chute, et l'on doit choisir celui qui répond le mieux aux conditions d'emploi, de technique et d'économie.

Parmi ces éléments, il en est deux qui représentent les *données principales*, ce sont l'épaisseur de la tôle et celle du frettage. Les autres concernant les pressions, tension et 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 fatigues élastiques.

Dans l'établissement d'une conduite, nous suivons la marche générale suivante, des variantes pouvant intervenir selon les cas. La longueur est divisée en tronçons, d'après le profil et la hauteur de chute ; à chacun correspond un tuyau spécial. On calcule le tuyau de base, en se donnant l'épaisseur de la tôle et du frettage, d'où dépend essentiellement le coût du

tuyau ; les éléments de contrôle indiquent si les tensions et compression sont dans les limites des coefficients de sécurité. Sinon, des changements dans les épaisseurs s'imposent.

On passe d'un tronçon à l'autre, en faisant porter les variations, tantôt sur l'épaisseur de la tôle, tantôt sur celle du frettage, ce qui modifie les tensions moléculaires, pour arriver toujours à la disposition la plus avantageuse.

Ce travail est facilité par l'emploi toujours du même fil comme diamètre et qualité (fil de 3 mm, rupture 160 kg, limite d'élasticité 100 kg), auquel nous faisons supporter des efforts moléculaires de 30 à 60 kg.

Dans ces conditions, on arrive à des économies de poids sensationnelles que l'on peut évaluer à 40 à 50 %, et par suite, économie sensiblement du même ordre dans la construction.

Citons un exemple :

Chute de Vintrou, de la Société des Forces Motrices de l'Agout.

Les conditions étaient :

Diamètre . . . . .	2 m.
Hauteur de chute . . . . .	225 m.
Surpression . . . . .	25 %
Longueur . . . . .	1250 m.

En tôle, suivant les errements actuels, le tonnage s'est élevé à . . . . . 1750 tonnes  
Etablie avec frettage à fil, le tonnage était . . . . . 720 »

Cette conduite pouvait être construite en tôle ordinaire, avec des épaisseurs n'exigeant pas un dispositif de renforcement, elle entre dans la catégorie des conditions moyennes. L'on y voit la supériorité de l'emploi des fils, et cette supériorité s'accroît d'autant plus que la pression statique est plus élevée et le diamètre plus grand.

Ainsi examinons les offres faites par la Maison Krupp pour un tuyau de 1,40 m de diamètre, sous la pression de 175 atm (1,750 kg par mm<sup>2</sup>). L'épaisseur de la paroi a été de 71 mm, le métal travaillant à 17,30 kg.

Nous aurions proposé le tuyau suivant :

Tôle Martin-Siemens, qualité des Chemins de fer français, épaisseur . . . . .	12 mm
8 rangs de fil de 3 mm, épaisseur . . . . .	18,500 mm
Travail de la tôle sous la pression de 1,750 kg . . . . .	15 kg
Travail des fils . . . . .	58 kg

A l'état de repos :

Compression de la tôle . . . . .	17,800 kg
Tension du frettage . . . . .	11,500 kg

L'épaisseur totale de la paroi est de 30,500 mm, plus de deux fois moindre que celle du « tuyau-canon » Krupp, et cet avantage se répercute sur toute la longueur de la conduite.

Comparons les poids :

Tuyau Krupp, par mètre . . . . .	2560 kg
Tuyau Monteux, » . . . . .	1347 kg

Rappelons que, dans notre tuyau, le mandrinage de la tôle permet la tension de 15 kg, avec une large marge de sécurité.

De même une rupture doit être considérée comme impossible ; elle ne peut provenir que de la tôle. Alors il en résultera un simple suintement à travers les fils, c'est un accident et non une catastrophe. Mais pour que la tôle se rompe, sauf le cas de malfaçon, il faut qu'elle soit portée à une tension de 40 à 45 kg. Si on calcule l'effort intérieur correspondant, on trouve une pression si élevée, qu'elle est hors des limites de toute réalisation.

Dans cet examen rapide du tuyau fretté à fil, nous avons énuméré simplement, sans entrer dans les développements, les qualités principales et essentielles du dispositif ; cela nous paraît suffisant pour que la supériorité de ce système sur tous

les autres soit établie et reconnue et pour que l'attention soit attirée sur la nouvelle méthode qui s'impose dans l'établissement des conduites forcées.

E. MONTEUX.

## CHRONIQUE

### Quelques idées à propos du concours pour la revision du plan d'extension de Lausanne.

Les participants au concours d'idées pour la revision du plan d'extension de la Ville de Lausanne — ouvert le 1<sup>er</sup> octobre dernier — travaillent sans doute avec entrain. Le concours se fermera le 31 mars prochain. C'est avec un intérêt extrême que le soussigné se penchera sur les projets présentés, qui seront, il faut l'espérer, riches en idées heureuses et réalisables.

Il ne s'agit pas tant, en effet, de mettre sur pied un plan magnifique qui exigerait, pour sa réalisation, des sommes énormes et un bon siècle d'efforts. Il faut surtout aboutir à la mise sur pied d'un plan qui, tout en n'écartant pas les grandes vues ni les perspectives hardies, puisse procurer tout de suite des avantages marqués.

C'est une question de mesure et de bon goût aussi. On ne fait rien avec rien, et il y a toujours certaines gens qui vous accusent d'avoir le million facile quand il doit être extrait de la bourse communale.

Un architecte même me demandait récemment : « Pourquoi diable voulez-vous faire de Lausanne une grande ville ? »

Comme s'il était question de cela ! Mais non, il faut seulement faire de Lausanne une cité qui n'étouffe pas trop dans ses maisons et qui ne meurt pas d'une paralysie de la circulation. Il faut aussi empêcher qu'on l'abîme davantage, c'est-à-dire réparer tout ce qui se peut réparer et prévoir aussi juste que possible là où, par bonheur, rien n'est encore fait.

Puisque nous sommes en plein travail de concours d'idées, le moment est excellemment choisi, me semble-t-il, pour en développer quelques-unes. Parmi celles que je vais soulever, il en est probablement qui heurteront, et d'autres qu'une étude approfondie révélerait peut-être impraticables. Si tel est le cas, tant pis ! L'essentiel, pour l'instant, est d'avoir des idées que l'on croit bonnes ; l'épuration viendra ensuite.

En ce qui concerne le programme du concours ouvert par la Ville, je me permets de renvoyer mes lecteurs à un article que j'ai publié à ce sujet dans le *Bulletin* du 17 octobre 1931. J'y effleurais déjà un certain nombre des problèmes qui occuperont les concurrents.

#### *Saint-François, le Grand-Pont et Bel-Air.*

C'est bien le centre de Lausanne, un centre terriblement engorgé et qu'il est inutile de songer à aérer en ripant — comme le demandait un fantaisiste — l'église de Saint-François à Derrière-Bourg.

Le Grand-Chêne, qui n'est pas grand du tout et où il n'y a pas de chêne, va être élargi prochainement. On nous a en tout cas promis depuis de longs mois, que l'affaire était dans le sac. A ce moment-là, la partie très supérieure du Petit-Chêne sera élargie aussi. C'est une amélioration absolument urgente... depuis trente ans. Devançant les projets des participants au concours d'idées, la Direction des travaux prévoit qu'un souterrain passant sous la place reliera le haut du Petit-Chêne à l'emplacement sis devant l'Union de banques suisses.

Ce projet, j'ai déjà eu l'occasion de le dire, me paraît assez malheureux. Il vaut beaucoup mieux, me semble-t-il, ne pas prévoir de souterrain du tout que celui qu'on entend creuser.

L'élargissement du Grand-Pont va de pair avec celui du