

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande

**Band:** 65 (1939)

**Heft:** 23

**Artikel:** Sur le régime des déformations et des contraintes d'une enveloppe métallique d'un type spécial: tube culotte d'une conduite forcée avec renforcements par brode elliptique et circulaire

**Autor:** Dumas, Antoine

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-50018>

### **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:** 09.11.2024

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

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

**ABONNEMENTS :**

Suisse : 1 an, 12 francs

Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs

Etranger : 12 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie  
F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. —

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président: R. NEESER, ingénieur, à Genève; Vice-président: M. IMER, à Genève; secrétaire: J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres: *Fribourg*: MM. L. HERTLING, architecte; A. ROSSIER, ingénieur; *Vaud*: MM. F. CHENAUX, ingénieur; E. ELSKES, ingénieur; EPITAUX, architecte; E. JOST, architecte; A. PARIS, ingénieur; CH. THÉVENAZ, architecte; *Genève*: MM. L. ARCHINARD, ingénieur; E. ODIER, architecte; CH. WEIBEL, architecte; *Neuchâtel*: MM. J. BÉGUIN, architecte; R. GUYE, ingénieur; A. MÉAN, ingénieur cantonal; *Valais*: M. J. DUBUIS, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION: D. BONNARD, ingénieur, Case postale Chauderon 475, LAUSANNE.

**ANNONCES**

Le millimètre sur 1 colonne,  
largeur 47 mm :  
20 centimes.

Rabais pour annonces  
répétées.

Tarif spécial  
pour fractions de pages.

Ferme des annonces :  
Annonces Suisses S. A.  
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)  
Lausanne

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE  
A. STUCKY, ingénieur, président; G. EPITAUX, architecte; M. IMER.

SOMMAIRE: *Sur le régime des déformations et des contraintes d'une enveloppe métallique d'un type spécial: Tube culotte d'une conduite forcée avec renforcement par bride elliptique et circulaire*, par ANTOINE DUMAS, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne. — *Problèmes actuels des concours d'architecture*, par R. SCHWERTZ et H. LESEMANN, architectes, à Genève. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes: Rapport de gestion pour l'année 1938* (suite et fin). — *Cours de soudure électrique à Baden*. — BIBLIOGRAPHIE. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT.

## Sur le régime des déformations et des contraintes d'une enveloppe métallique d'un type spécial :

### Tube culotte d'une conduite forcée avec renforcements par bride elliptique et circulaire,

par ANTOINE DUMAS,

Professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne.

#### I. Introduction.

Le laboratoire d'essais des matériaux de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne expose à l'Exposition Nationale à Zurich, en cette année 1939, une enveloppe d'un type spécial, à savoir un élément en forme de culotte d'une conduite forcée et raidi par deux nervures, l'une elliptique et l'autre circulaire. Des mesures des déformations et des contraintes ont été pratiquées sur l'objet et les résultats ont été reportés sur la pièce de la manière qui a semblé la plus convenable pour mettre ces résultats en évidence. Ce désir a certainement été satisfait; par contre, le spécialiste n'aura pas entièrement trouvé son compte. En effet, quelques courbes, même très judicieuses, tracées sur un modèle d'exposition, ne sauraient rapporter au spécialiste tout ce que l'étude de l'objet a pu mettre en évidence: seul un mémoire explicatif détaillé pourra donner des renseignements utiles sur l'élasticité et la résistance de la pièce, aussi le but de cette étude est-il de développer critiquement le mode de calcul et d'essai de la pièce en question.

Signalons pour débiter que la pièce a été fabriquée par MM. *Sulzer Frères* à Winterthur, sur le modèle d'une exécution de leurs ateliers; elle a été mise gracieusement à la disposition du laboratoire d'essais, ce dont nous les remercions aujourd'hui.

Les mesures des déformations et des tensions ont été pratiquées au laboratoire par M. *Jacques Paschoud*, ingénieur, au début de l'année 1939; une étude assez complète de la pièce a été effectuée par M. *Paschoud* et c'est lui qui aurait rédigé la note présente si les dures circonstances actuelles ne l'éloignaient pas pour longtemps de ses occupations professionnelles. Néanmoins, l'étude de l'objet en question est si riche en suggestions de tous genres qu'il sera même aisé de la reprendre sur la base des résultats exposés aujourd'hui et de faire faire encore un pas en avant dans le vaste domaine du calcul des enveloppes et des corps creux en général.

Au point de vue mathématique, le calcul des enveloppes et des corps creux peut être considéré comme résolu: les équations différentielles définissant les régimes des déformations et des contraintes sont établies. Malheureusement, seuls quelques cas relativement élémentaires conduisent à des équations pouvant être résolues par des moyens relativement simples: cylindre, sphère, cône et tore, et cela, bien entendu, pour le cas de parois d'épaisseur constante. Dès que les épaisseurs sont variables, afin de se rapprocher d'une forme d'égale résistance ou que des raidissements au moyen de nervures sont envisagés, le problème devient inabordable au point de vue rigoureux, tant les équations auxquelles cela conduit sont compliquées à résoudre. L'ingénieur, néanmoins, dans



mais il ne faut pourtant pas omettre qu'une mesure risque toujours d'être entachée d'une certaine erreur, aussi y a-t-il bien des cas où la mesure est moins près de la réalité que le résultat d'un calcul même approché. Dans d'autres cas, par contre, c'est l'inverse qui a lieu : la capacité d'un réservoir de forme compliquée se détermine plus aisément par mesure que par calcul, tandis que des relevés tensométriques, dans tous les cas où le calcul est possible, fournissent des résultats moins rigoureusement sériés que ceux que définit la théorie. Ainsi donc le fil directeur fourni par la théorie sera-t-il pris comme base de toute discussion.

#### IV. Sur le régime théorique des contraintes de l'objet.

L'enveloppe étudiée est formée par des tôles minces par rapport aux rayons des tubes ; elle peut donc être assimilée à une membrane et calculée comme telle. C'est du reste dans cette hypothèse fondamentale que les épaisseurs des tôles ont été déterminées, en appliquant les formules simples des cylindres et des cônes de révolution. Ce qui caractérise en mécanique une enveloppe assimilée à une membrane, c'est qu'il est admis que le métal ne transmet que des forces normales aux sections (tractions) et ne transmet aucun moment fléchissant ; il est sous-entendu que la membrane ne présente aucune rigidité transversale, capable de réagir à une flexion. Certains corps creux tels que la sphère, l'ellipsoïde de révolution ou d'autres encore, satisfont rigoureusement à cette condition ; par contre, d'autres corps, tels que par exemple un tube elliptique de grande longueur, ne résistent pas à la pression intérieure si le métal ne présente aucune rigidité transversale. Ainsi donc, les contraintes fondamentales des tôles ont été calculées en assimilant l'enveloppe à une membrane, contraintes auxquelles le métal, dans le cas particulier, doit résister en tout état de cause, car dès que, pour une raison ou une autre, par exemple par suite d'une surtension locale, le métal entre dans le domaine plastique (dépassement de la limite d'élasticité apparente), c'est l'état membrane qui devient dominant. Mais le calcul effectué dans ces conditions seules est souvent insuffisant. En effet, dans le voisinage des assemblages présentant des discontinuités, par exemple au raccord des tubes coniques entre eux ou avec les brides, il s'établit des flexions locales qui peuvent être très élevées et capables de provoquer une surtension des liaisons (cordons de soudure). Il est donc de rigueur de contrôler le régime des contraintes d'une enveloppe aux deux points de vue suivants : 1° En général en l'assimilant à une membrane ne transmettant que des forces normales. 2° En recherchant l'effet des flexions dans les régions dangereuses. Cette dernière exigence conduit dans la règle à des calculs très laborieux, inextricables dans la majorité des cas, dont un rappel est donné ci-dessus, mais qui néanmoins doivent être pratiqués d'une manière ou d'une autre si l'on ne veut pas courir le risque d'accident par concentrations de tensions.

Le corps schématisé, dont le calcul va suivre, est représenté par la figure 4. Les cotes reportées sur le dessin sont celles qui ont été utilisées pour les calculs : elles ont été déduites des dessins de fabrication.

Partout où les tubes sont complets et forment un cercle entier, ils se portent d'eux-mêmes et ils sont à contrôler par les formules simples des tubes circulaires, mais cela n'est pas le cas pour la région de pénétration et de raccordement des deux tubes tronçonnés que la figure 5 reproduit et qui est une épure du jeu des forces dans cette région.

Cette épure montre que l'équilibre de la membrane est rétabli si l'on fait agir dans l'ellipse de réunion des tubes coniques les forces suivantes, rapportées à l'unité de longueur de la coupe :

a) Une force  $p_y = 2 \cdot p \cdot h \cdot \frac{\Delta z}{\Delta x} = 2 p \cdot h \cdot \cos \alpha$  dans le sens vertical (axe des  $y$ ) ;

b) Une force  $p_x = 2 p \cdot y \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\Delta z}{\Delta x} = p \cdot y \cdot \sin 2 \alpha$  dans le sens longitudinal (axe des  $x$ )

où  $p$  est la pression intérieure de l'enveloppe.

Or, ces deux grandeurs  $h$  et  $y$ , étant donné la forme des tubes raccordés, sont représentées, la première par une droite, et la seconde par une ellipse, semblable à la courbe d'intersection des deux tubes, ainsi que c'est dessiné sur la figure.

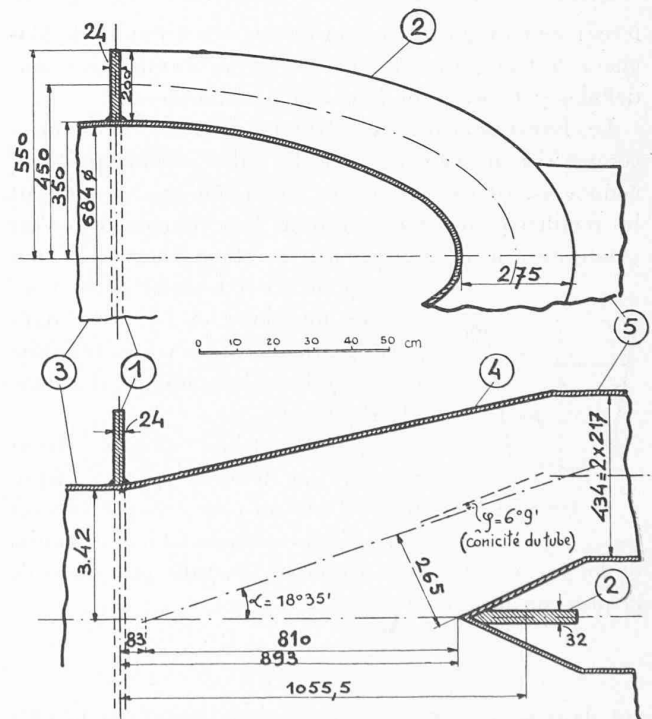


Fig. 4. — Coupe de la dérivation par des plans principaux. Les cotes reportées ci-dessus ont été utilisées pour les calculs.

Légende :

1. Bride circulaire. — 2. Bride elliptique. — 3. Tube cylindrique, diam. 684 mm. — 4. Tube conique. — 5. Tube cylindrique, diam. 434 mm. — Epaisseur des tôles : 8 mm.

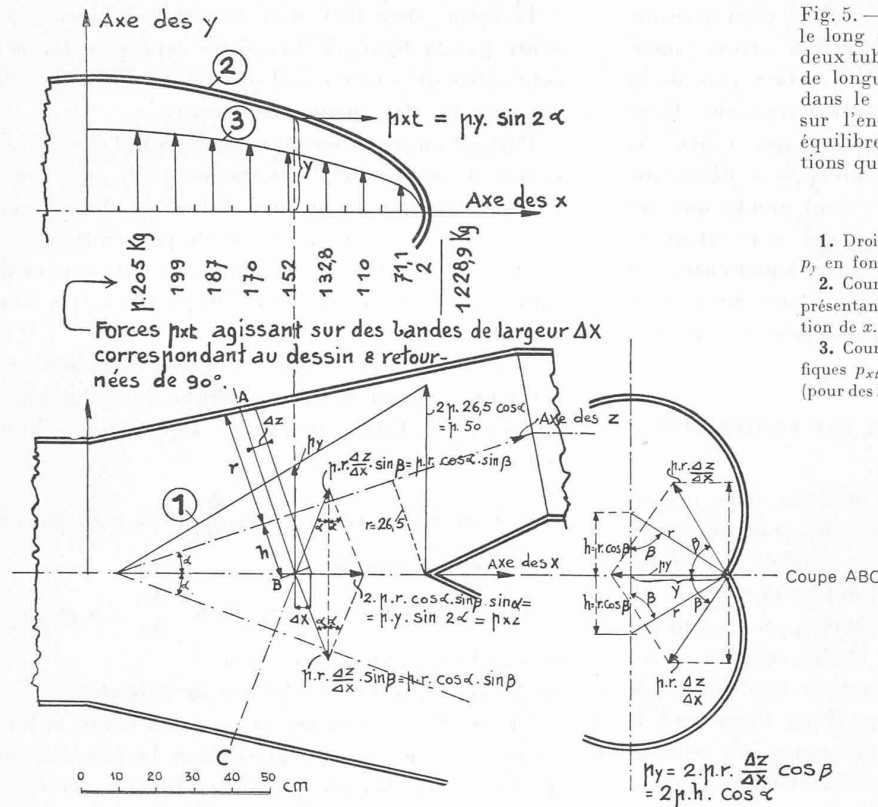


Fig. 5. — Dynamique des forces agissant le long de la courbe d'intersection des deux tubes coniques, rapportées à l'unité de longueur  $x$ . Les flèches sont dirigées dans le sens où les forces doivent agir sur l'enveloppe pour la maintenir en équilibre; les brides fourniront leurs réactions qui seront dirigées en sens inverse.

Légende :

- 1. Droite représentant la charge spécifique  $p_y$  en fonction de l'abscisse  $x$ .
- 2. Courbe d'intersection des deux tubes représentant la charge spécifique  $p_{xt}$  en fonction de  $x$ .
- 3. Courbe représentative des charges spécifiques  $p_{xt} = p \cdot y \cdot \sin 2\alpha \Delta x$  en fonction de  $x$  (pour des largeurs  $\Delta x$  correspondant au dessin).

Quant au terme  $\frac{\Delta z}{\Delta x} = \cos \alpha$  il provient du fait que les forces sont rapportées en fin de compte à l'unité de longueur de l'axe des  $x$ , tandis que les forces effectives sont définies par l'unité de longueur de l'axe des  $z$ .

Les forces dont il vient d'être question ont été calculées comme si l'on avait à faire à des tubes cylindriques. Or, comme on est en présence de tubes coniques, il faudrait les rectifier pour tenir compte de leur conicité. Dans ces conditions, il faudrait multiplier tous les termes par  $\frac{1}{\cos \varphi}$ , où  $\varphi$  est le demi angle d'ouverture du cône; or ce terme, dans le cas particulier, est si voisin de l'unité que son rôle est insignifiant; il a donc été négligé.

Les sollicitations axiales créent aussi un jeu de forces qui est à équilibrer. Dans un tube conique suivant fig. 6, la force axiale sollicitant l'unité de longueur de la coupe circulaire du tube provenant de la pression intérieure  $p$  est :

$$N_1 = \frac{p \cdot r}{\cos \varphi}$$

Or, dans le cas présent, le tube étant coupé par le plan d'intersection des deux tubes, toute la sollicitation axiale de cette région vient aboutir sur la bride elliptique à laquelle incombe la tâche de la transmettre où elle peut. Il est de rigueur de tenir compte de cet effet car l'objet a été essayé avec des fonds; et même si des joints de dilata-

tion avaient été prévus pour éliminer certaines forces axiales, les tubes coniques n'en auraient pas été affranchis. Une telle disposition aurait conduit à un jeu de force très spécial, mais qui ne sera pas discuté ici.

La figure 7 donne le jeu des forces axiales le long de l'intersection des tubes coniques. N'entrons pas dans le détail de la manière dont ces forces ont été calculées et bornons-nous à rappeler que le total de ces forces (p. 1319, 6 kg) est égal à la section du tube limitée en plan par la courbe d'intersection des tubes et multipliée par la pression (p. 1315  $\text{cm}^2$ ).

Les forces axiales définies par la figure 5 et celles définies par la figure 7 agissent dans la même direction (mais pas dans le même sens) et sont à totaliser. On constate d'emblée que ces forces se font à peu près équilibre (p. 1228, 9 contre p. 1248, 5 kg.), ce qui s'explique très bien. Il aurait été intéressant au point de vue strictement théorique de calculer d'une manière beaucoup plus exacte les dites forces, afin de mettre en évidence la vraie valeur de leurs différences, mais ce travail n'a pas été fait étant donné qu'il est très laborieux et ne présente guère d'utilité pratique.

La figure 8 donne le rappel et la totalisation des deux systèmes de forces définis ci-dessus, ce qui fournit le régime des forces axiales agissant sur la bride elliptique.

Le régime de toutes les forces qu'il faut faire agir le long de la ligne d'intersection des deux tubes coniques, afin de rétablir l'équilibre du système assimilé à une

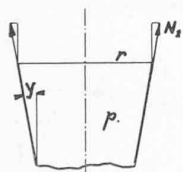


Fig. 6.

