

M. H.-H. Barnes a observé de même que le balancement est supprimé lorsque, les alternateurs, étant excités par accumulateurs, on charge leurs excitatrices sur des résistances. C'est encore une augmentation de l'amortissement, puisque dans ce cas le couple résistant des excitatrices est proportionnel à la vitesse. Et qu'on ne soit pas surpris qu'une si petite cause ait un pareil effet, car le couple perturbateur dû à l'hystérésis est petit, puisqu'il contient $\eta \varepsilon$; il est de l'ordre de grandeur de l'amortissement quand celui-ci est très faible : le « cumulative surging » ne se produit pas quand l'amortissement est un peu fort.

On peut très bien comprendre physiquement cette influence de l'hystérésis :

Lorsque deux alternateurs couplés ont un décalage, sans osciller, si les forces électromotrices sont égales, le courant de circulation est watté; s'ils oscillent, la différence périodique de leurs forces électromotrices donne lieu à un petit courant de circulation supplémentaire qui est *déwatté*, périodique, maximum au milieu de l'oscillation, et nul aux extrémités. Sans hystérésis ce courant déwatté n'a aucun effet. Avec l'hystérésis il se trouve retardé légèrement et devient donc partiellement watté (négativement); cette composante wattée est *motrice* et comme elle est maxima au milieu de l'oscillation, c'est-à-dire quand la vitesse périodique est maxima elle produit un amortissement négatif.

Le retard des forces électromotrices sur les vitesses quand il y a des excitatrices produit le même résultat.

Dès lors on peut prévoir que toute cause de retard du petit courant déwatté dû aux oscillations des forces électromotrices produira le même effet.

Par contre, toute cause d'avance s'opposera à la production du phénomène. Et dans ce cas se trouve la résistance intérieure des alternateurs qui, comme toute résistance, a pour effet de provoquer une avance du courant quand elle est introduite dans un circuit réactif.

Si l'on recommence en effet les calculs précédents en ne négligeant plus ρ devant $\omega \lambda$, mais en négligeant encore ρ^2 devant $\omega^2 \lambda^2$ pour simplifier, on trouve pour le couple perturbateur :

$$\frac{E_{\text{eff}} I_{\text{cc}}}{\Omega_m} \varepsilon \left[\eta - \frac{\rho}{\omega \lambda} \right] \sin \alpha t$$

Le couple perturbateur dû à l'hystérésis seule peut devenir nul, voir même amortisseur, en augmentant la résistance intérieure ρ .

Il serait intéressant de vérifier la chose expérimentalement.

P. BOUCHFROT.

FLEXIONS DES PAROIS

dans les tuyaux de conduite de grand diamètre

— (SUITE) —

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

Dans la formule générale $M = \left(p R^2 + \frac{I}{2} \delta R^3 \right) Z$, le premier facteur est un coefficient constant, qui se calcule immédiatement dès que l'on connaît le rayon, le poids des parois et la densité du liquide contenu ($\delta = 1000$ pour l'eau).

On obtient les moments, par unité de longueur des parois, en multipliant par ce coefficient le terme Z qui ne contient plus que des fonctions trigonométriques de la variable α et de la constante définissant la position des appuis ou la largeur de la zone appuyée.

Pour un mode d'appui déterminé et une valeur définie de l'angle φ , nous pourrions étudier les variations du terme Z en fonction de α , en traçant la courbe représentative des valeurs successives de Z , rapportée à deux axes de coordonnées rectangulaires.

Nous porterons en abscisses les valeurs de α , mesurées en longueurs d'arc, l'axe des X représentant la circonférence développée d'une section de conduite. En ordonnées nous porterons les valeurs de Z .

Nous obtenons ainsi des courbes que l'on peut tracer une fois pour toutes, à une échelle commode, et que l'on peut ensuite utiliser dans toutes les études de canalisations, quels que soient leur diamètre et le poids des parois.

En comparant entre elles les courbes correspondant à une même disposition d'appuis, pour diverses valeurs de φ , on pourra se rendre compte de l'influence des variations de l'angle φ (variations de l'espacement transversal des appuis isolés, ou de la longueur d'une zone appuyée). Ces comparaisons se feront très simplement en superposant les courbes, et l'on en déduira la meilleure valeur de φ à adopter, suivant les conditions à remplir.

En superposant au contraire des courbes correspondant à des dispositions d'appuis différentes, pour une même valeur de φ , on aura l'influence propre du mode d'appui sur la répartition des flexions dans les parois.

TUYAU REPOSANT SUR DEUX APPUIS.

Considérons par exemple les quatre courbes correspondant à l'angle $\varphi = 30^\circ$, dans le cas d'un tuyau reposant sur deux appuis symétriques :

Courbe n° 1. Appuis simples fixes.

Courbe n° 2. Appuis simples mobiles horizontalement.

Courbe n° 3. Appuis simples à réaction radiale.

Courbe n° 4. Encastrement sur les appuis.

Nous avons inscrit sur ces courbes les valeurs des ordonnées Z pour des valeurs de α variant de 15° en 15° . L'origine des coordonnées est le point inférieur A de la section du tuyau.

Entre les appuis P P la courbe n° 4 se confond sensiblement avec l'axe des abscisses, les ordonnées des moments dans cette région étant extrêmement faibles à l'échelle du dessin.

Nous voyons que ces courbes présentent des points anguleux sur les appuis, qui sont les régions des plus grands moments, pour cette valeur de φ .

Avec les conventions de signes adoptées pour les moments, les valeurs négatives de Z sont celles qui correspondent aux flexions tendant à aplatir le tuyau. Elles ont été portées au-dessus de l'axe des X . On voit par l'aspect des courbes que les régions du tuyau qui seront aplaties sont celles des appuis et du sommet de la circonférence en B. Les autres parties sont au contraire renflées.

Les courbes indiquent la position des maxima et mini-

ma, qui ont lieu en A, en B, et en un point intermédiaire, dans le voisinage de 90°.

Pour les quatre types d'appuis considérés, la forme des courbes est très différente dans la région comprise entre les appuis, ce qui s'explique, cette région P A P étant peu étendue et soumise à l'influence des liaisons des appuis qui en sont très voisins.

Dans la région supérieure P B P, qui est très étendue, les courbes affectent au contraire une allure semblable.

En comparant les valeurs des moments pour les quatre courbes, on voit que la disposition des appuis mobiles,

ligne enveloppe des plus grands moments, en valeur absolue, est représentée par le contour *a b c d e f g*.

C'est cette ligne enveloppe que l'on pourra utiliser dans la pratique, par mesure de sécurité, toutes les fois qu'il n'apparaîtra pas que l'on puisse ranger nettement dans telle ou telle catégorie le système d'appui étudié.

Cela se présentera fréquemment. En effet, la fixité absolue des appuis peut être difficile à réaliser, lorsque les déplacements horizontaux correspondant au type théorique des appuis mobiles, sont d'une amplitude extrêmement faible, de quelques dixièmes de millimètre par exemple.

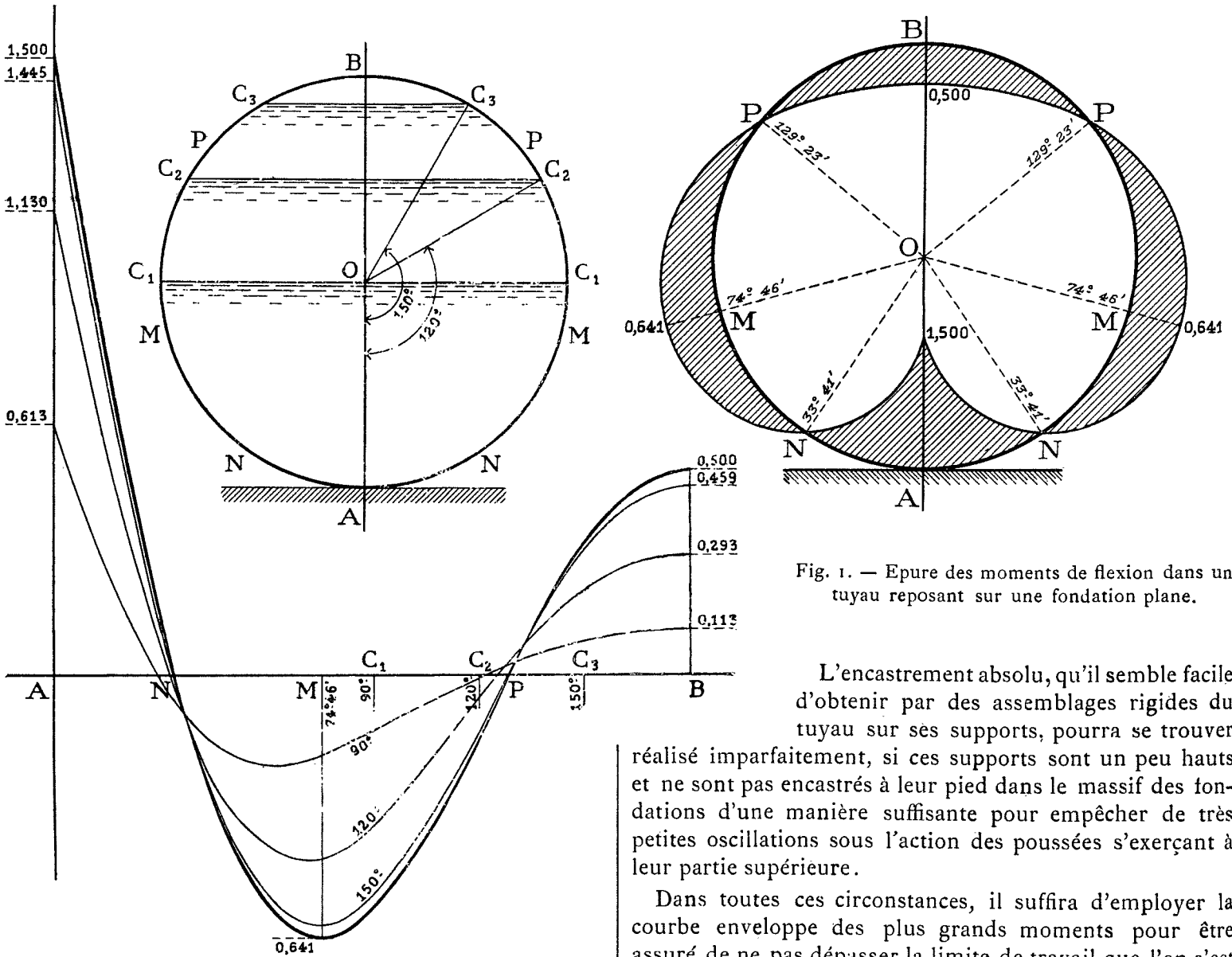


Fig. 1. — Epure des moments de flexion dans un tuyau reposant sur une fondation plane.

L'encastrement absolu, qu'il semble facile d'obtenir par des assemblages rigides du tuyau sur ses supports, pourra se trouver réalisé imparfaitement, si ces supports sont un peu hauts et ne sont pas encastres à leur pied dans le massif des fondations d'une manière suffisante pour empêcher de très petites oscillations sous l'action des poussées s'exerçant à leur partie supérieure.

Dans toutes ces circonstances, il suffira d'employer la courbe enveloppe des plus grands moments pour être assuré de ne pas dépasser la limite de travail que l'on s'est imposée, pour la matière composant les parois.

On peut également utiliser cette courbe à la manière d'une courbe de moments de flexion dans des travées droites continues, pour renforcer les parois dans les régions des plus grandes fatigues, soit par des augmentations d'épaisseur, soit par des dispositions appropriées dans les armatures.

Enfin, si l'épaisseur des parois est constante, ou si les armatures ont un profil constant pour toute la circonférence, il suffira de retenir de ces courbes l'indication du moment le plus grand en valeur absolue.

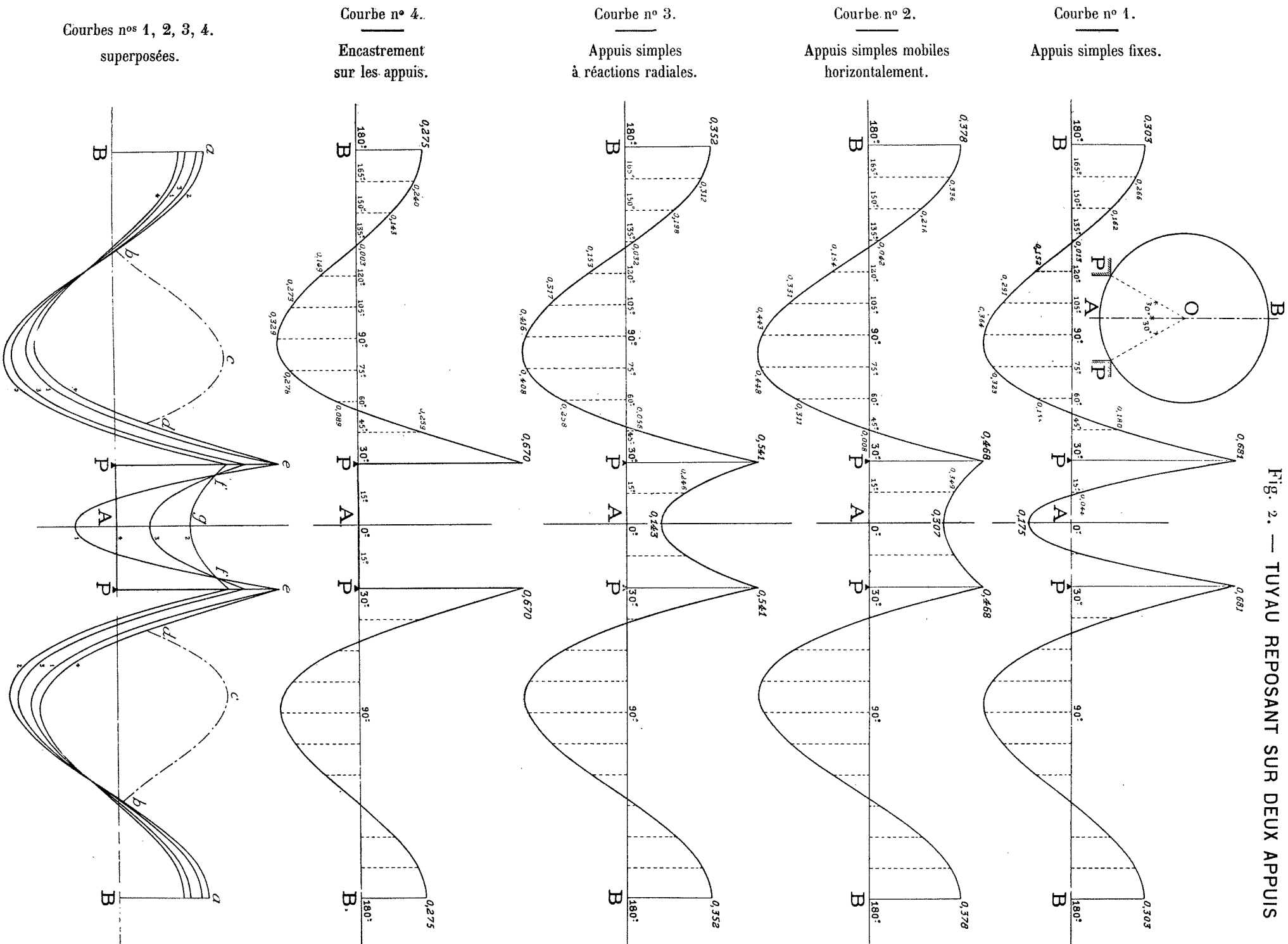
Ce maximum a lieu ici sur les appuis, pour la courbe.

courbe n° 2, est celle qui fatigue le moins les parois, dans le voisinage des appuis. Cela se conçoit, car la mobilité des appuis annule les poussées, tandis que dans les trois autres cas les parois demeurent soumises à l'action de ces forces, sur les appuis.

Par contre les fatigues sont plus grandes, en dehors de cette zone peu étendue, lorsque les appuis sont mobiles, et dans toute la région supérieure P B P, au-dessus des appuis, c'est la courbe n° 4 (encastres) qui correspond aux plus petits moments.

Ces résultats apparaissent avec plus de netteté lorsque l'on superpose les quatre courbes, et nous voyons que la

Fig. 2. — TUYAU REPOSANT SUR DEUX APPUIS



n° 1, qui nous donne $Z = 0,681$, et la valeur absolue du plus grand moment sera :

$$M = 0,681 \left(p R^2 + \frac{1}{2} \delta R^3 \right) \quad (\text{maximum négatif})$$

par mètre courant de conduite.

TUYAU REPOSANT SUR UNE FONDATION PLANE.

La courbe Z correspondante a été tracée à la même échelle que les précédentes. On voit de suite qu'elle correspond à des moments fléchissants beaucoup plus grands. C'est au point d'appui inférieur A que les valeurs de Z sont les plus grandes.

C'est en effet en ce point que sont venues se superposer les réactions des appuis dont les fatigues locales étaient réparties précédemment en deux points des parois.

Les maxima négatifs de la fonction Z ont lieu :

En A, où l'on a $Z = 1,50$ (aplatissement).

En B, — $Z = 0,50$ —

On a un maximum positif pour $\alpha = 74^{\circ} 46'$:

En M, où l'on a $Z = 0,641$ (renflement).

Et les moments fléchissants sont nuls :

En N ($\alpha = 33^{\circ} 41'$) et en P ($\alpha = 129^{\circ} 23'$).

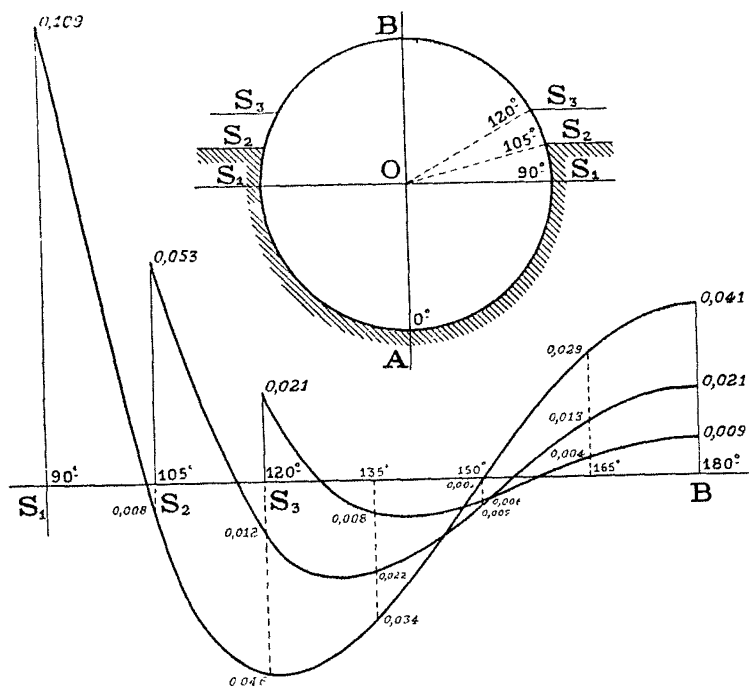


Fig. 3. — Canalisations disposées dans un biseau maçonné.

Nous avons tracé une épure des moments de flexion sur la circonférence elle-même, en portant des longueurs proportionnelles aux moments, suivant les rayons, à l'intérieur du cercle pour les moments négatifs, à l'extérieur pour les moments positifs. (Voir fig. 1)

Les épaisseurs des surfaces ombrées indiquent ainsi les variations des moments, les régions de tuyau aplaties sont celles qui correspondent aux surfaces situées à l'intérieur de la circonférence, les régions renflées correspondent aux surfaces extérieures.

Nous avons également indiqué, pour mémoire, les courbes des valeurs de Z pendant le remplissage. Elles ont déjà fait l'objet d'une étude particulière dans cette Revue (1).

TUYAU REPOSANT SUR UNE FONDATION CIRCULAIRE.

a) *Appui suivant une zone inférieure de contact.* — Nous avons tracé la courbe Z correspondante, pour $\varphi = 30^{\circ}$ (courbe n° 6).

On a encore un moment maximum au milieu de la région appuyée, au point A. Mais ce maximum est bien plus faible que lorsque l'appui se fait suivant la génératrice du point A, il est environ moitié moindre, car $Z = 0,84$ au lieu de 1,50 et la courbe des Z présente une partie arrondie dans le voisinage du point A, au lieu de la pointe aiguë du cas précédent.

En superposant les courbes n° 5 et 6, nous voyons que ces deux courbes demeurent partout très voisines, sauf auprès du point A.

L'appui, suivant une zone inférieure de contact totale de 60° entre le tuyau et sa fondation, est donc très efficace pour diminuer les fatigues au point inférieur A, mais il est sans grande influence sur les flexions des parois, en dehors de la région appuyée. Les ordonnées Z sont seulement un peu plus faibles pour la courbe 6 que pour la courbe 5.

b) *Canalisation disposée dans un berceau maçonné.* — Nous avons tracé les trois courbes Z correspondant à des berceaux maçonnés embrassant toute la demi-circonférence inférieure de la conduite, et dont les niveaux supérieurs seraient en S_1, S_2, S_3 , ces trois points étant caractérisés par les valeurs $\varphi = 90^{\circ}, 105^{\circ}, 120^{\circ}$.

La plus grande valeur absolue des moments de flexion a lieu en ces endroits. On a :

$$Z = 0,109 \text{ en } S_1 \quad Z = 0,053 \text{ en } S_2 \quad Z = 0,021 \text{ en } S_3$$

Ainsi lorsque l'angle φ passe de 90° à 105° les moments de flexion sont diminués de moitié au point S. Ils sont également réduits de moitié en B, à la partie supérieure du tuyau, et dans la région intermédiaire du maximum positif.

De même en passant de 105° à 120° , les fatigues sont réduites de plus de moitié.

Ces résultats sont intéressants à observer, car ils montrent combien l'efficacité d'un berceau maçonné se trouve augmentée, dès que l'on dépasse quelque peu le niveau du plan diamétral horizontal pour son arasement supérieur.

C'est une disposition semblable de berceau maçonné qui a été adoptée pour la conduite de Champ, dont nous donnons une coupe transversale pour la partie en tôles.

L'arasement supérieur du berceau a été fait à 0m50 au-dessus du plan diamétral horizontal, ce qui correspond à un angle φ légèrement supérieur à 105° .

MM. Bouchayer et Viallet, constructeurs à Grenoble, nous ont communiqué les plans de détails d'une conduite projetée, de 3m45 de diamètre intérieur, en tôles rivées très minces, les épaisseurs variant de 6 à 8m/m seulement.

Nous avons représenté une coupe transversale de cette conduite, et l'on y voit les dispositions adoptées pour combattre les déformations de parois aussi éminemment flexibles.

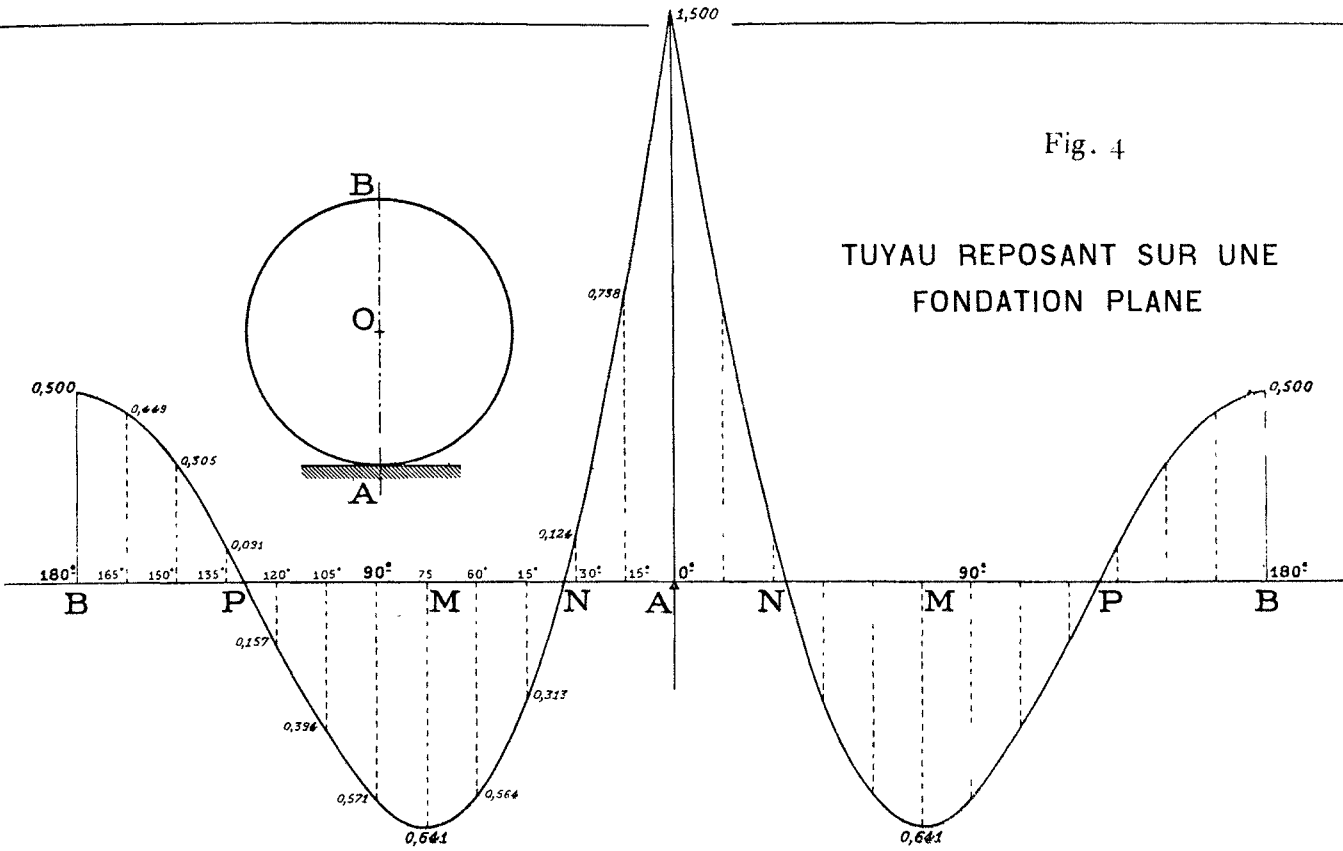
Sur chaque tronçon de 10 mètres de longueur, on a disposé trois armatures, en cornières, embrassant toute la circonférence, ces armatures étant renforcées à la partie inférieure par un cadre en cornières. L'espacement des armatures est ainsi de 3m30 environ. Elles ont été établies

(1) Voir *La Houille Blanche*, 1903, page 238.

Fig. 4

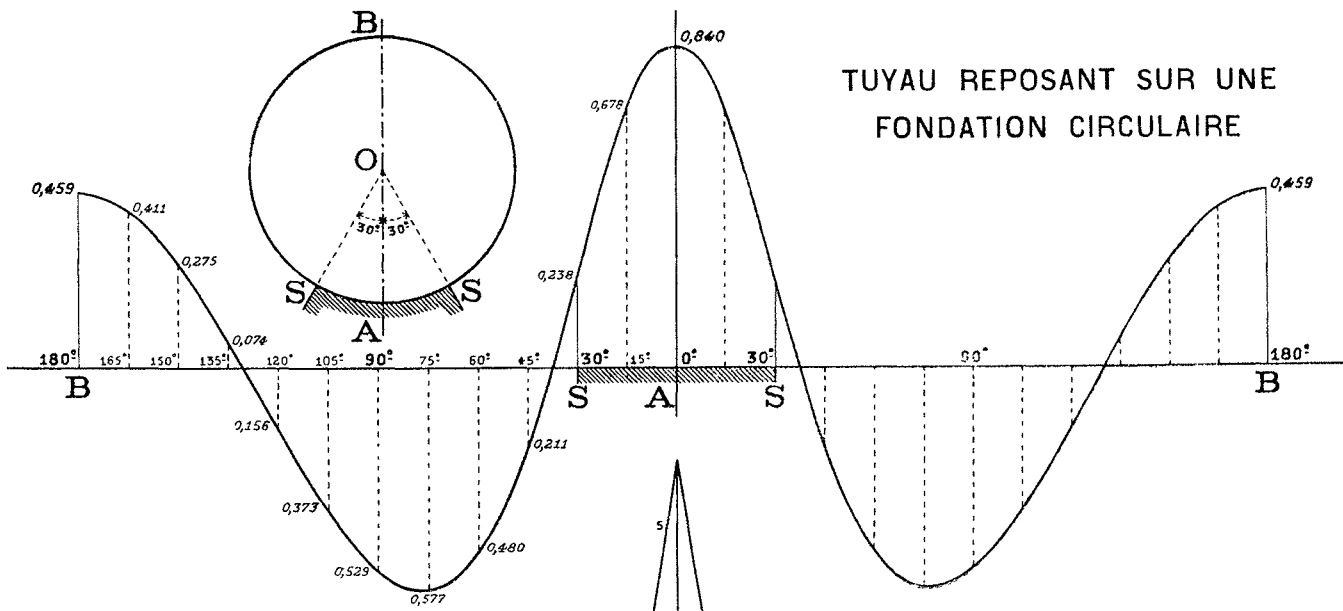
TUYAU REPOSANT SUR UNE
FONDATION PLANE

Courbe n° 5.

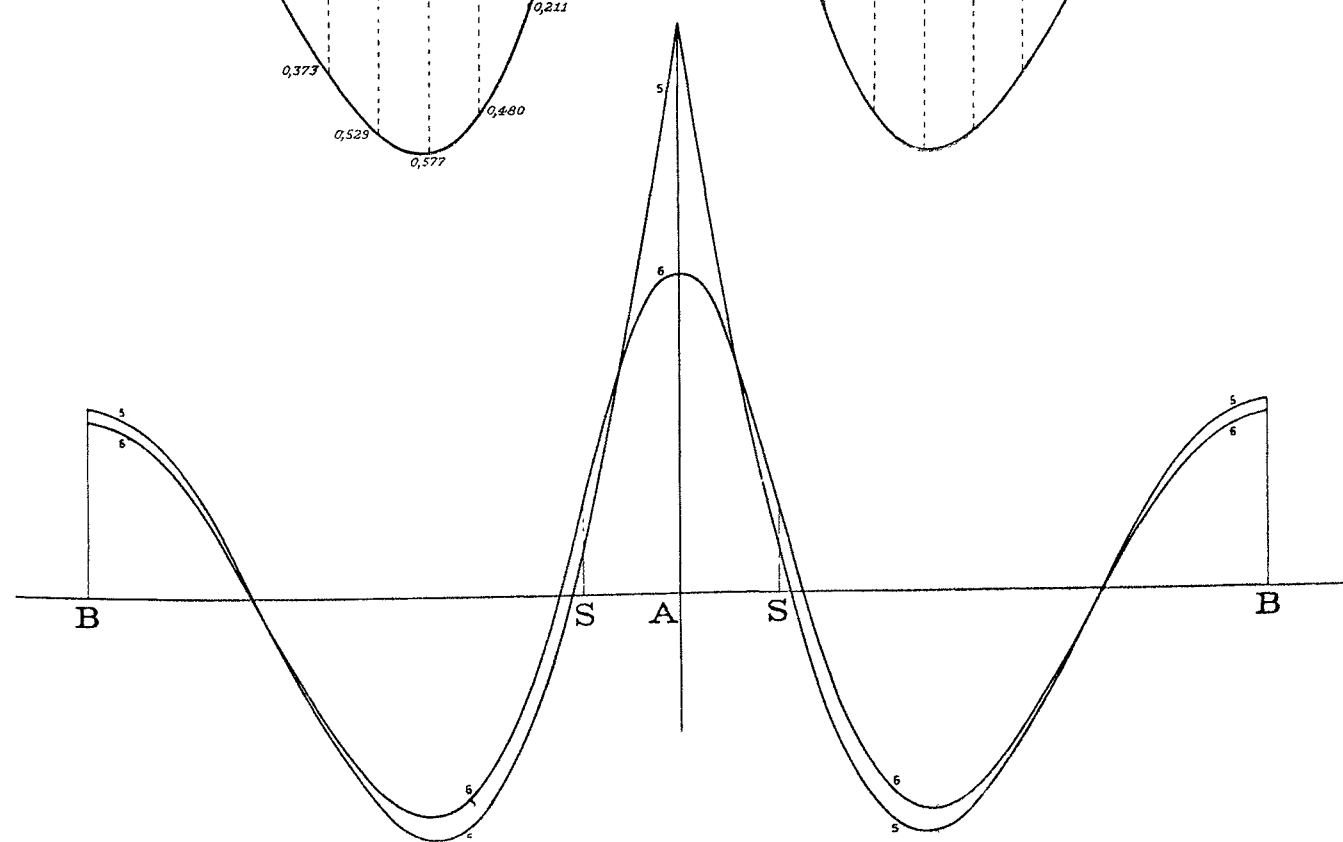


TUYAU REPOSANT SUR UNE
FONDATION CIRCULAIRE

Courbe n° 6.



Courbes n° 5 et 6
superposées.



pour s'opposer aux déformations des tronçons à vide, c'est-à-dire pendant leur transport et mise en place. Les déformations dues au poids de l'eau, lorsque la conduite est en service, sont combattues comme précédemment par un berceau maçonné embrassant toute la région inférieure de la canalisation, jusqu'à 0m50 au dessus du plan horizontal diamétral.

APPLICATIONS NUMÉRIQUES.

Nous donnerons ci-après, à titre d'indication, quelques applications numériques des formules qui précèdent, en étudiant tout d'abord le cas d'une canalisation appuyée sur une fondation continue, avec parois en tôles, sans armatures.

Nous verrons ensuite comment les formules de flexions peuvent être utilisées pour les calculs des armatures, et dans le cas des appuis discontinus.

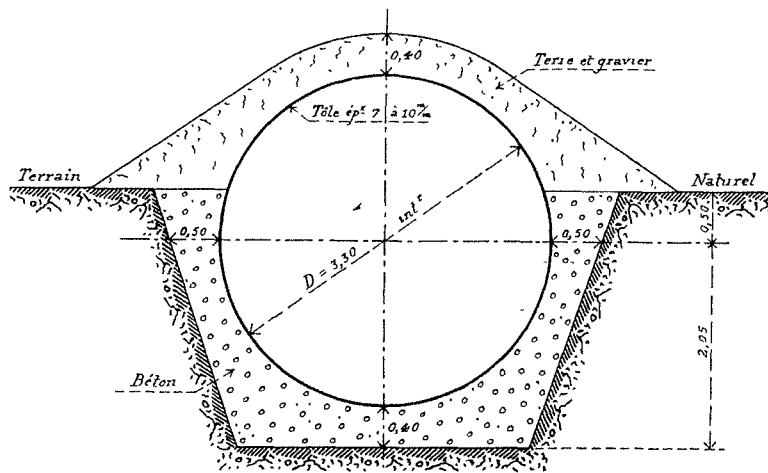


Fig. 5. — Tuyau de la conduite de Champ

FONDACTIONS CONTINUES, PAROIS SANS ARMATURES.

Soit une conduite de 1 mètre de diamètre, avec une pression d'eau de 50 mètres.

a) Supposons que cette conduite repose sur un sol résistant ou une fondation plane, et suivant sa *génération inférieure* seulement, et admettons une épaisseur de parois de 7m/m.

Pour simplifier les calculs, nous ne tiendrons pas compte des trous de rivets à déduire, et des renforcements que l'on pourrait compter d'autre part, par les cercles de recouvrement des viroles successives.

Efforts normaux. — Sous l'action de la pression d'eau de 50 mètres, la tension constante, dans les parois, est de $\frac{50\ 000 \times 1,00}{2} = 25\ 000^k$ par mètre courant.

Section de la paroi, en millimètres carrés, par mètre courant, 7 000 mm².

Travail de tension constant dans l'épaisseur des parois, sous l'action de la pression intérieure :

$$r_1 = \frac{25\ 000}{7\ 000} = 3^k6 \text{ par millimètre carré.}$$

Flexions dues aux forces déformatrices. — Dans la formule

$$M = (pR^2 + \frac{1}{2} \delta R^3) Z$$

on a : $p = 60^k$ (poids des parois au mètre carré), $R = 0,50$, $\delta = 1\ 000$, d'où :

$$\left. \begin{aligned} pR^2 + \frac{1}{2} \delta R^3 &= 60 \times 0,5^2 + \frac{1}{2} \times 1\ 000 \times 0,5^3 \\ &= 15 + 62,5 = 77,5 \end{aligned} \right\}$$

La valeur maximum de Z (courbe du type n° 5) se produit suivant la génératrice inférieure de contact et est égale à 1,50.

Moment de flexion par mètre courant de conduite :

$$M = 77,5 \times 1,50 = 116^k\text{gms } 3.$$

Module de résistance $\frac{1}{6} \times 0,007^2 = 0,000082$.

Travail maximum du métal par suite des flexions :

$$r_2 = \frac{116,3}{8,2} = 14^k2 \text{ par millimètre carré.}$$

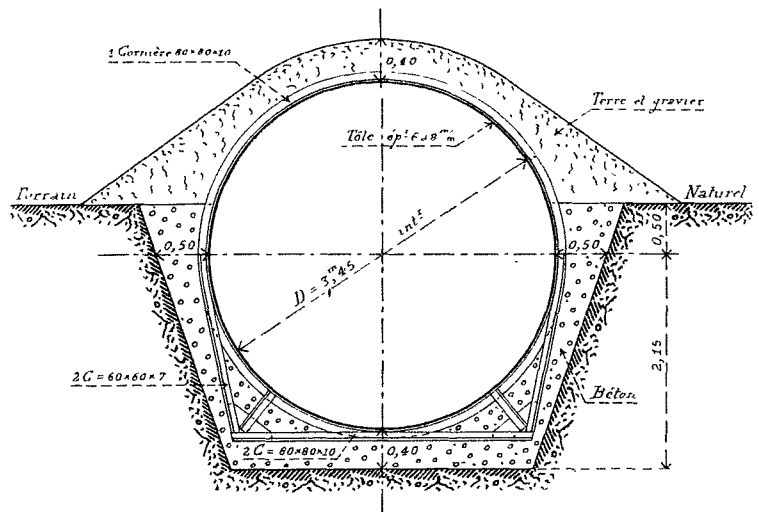


Fig. 6. — Projet Bouchayer et Viallet. Conduite de 3m45 de diamètre.

Le travail maximum total sera donc inférieur à :

$$R = r_1 + r_2 = 3^k6 + 14,2 = 17^k8 \text{ par millimètre carré.}$$

Ce coefficient est élevé, mais serait admissible, car il est inférieur à la limite d'élasticité pour des aciers doux ordinaires, et nous verrons plus loin qu'il est permis dans ces calculs de s'en rapprocher notablement.

b) Supposons maintenant que cette même conduite repose sur une *fondation circulaire* continue, suivant une zone de 30° à droite et à gauche de la verticale, soit 60° en tout.

La valeur maximum de la fonction Z a toujours lieu au même point, suivant la génératrice inférieure, mais elle n'est plus que 0,84 au lieu de 1,50 (voir étude de la courbe Z'_0 pour $\varphi = 30^\circ$).

Si nous conservons pour cette conduite la même épaisseur de 7 mms que précédemment, on aura pour les flexions :

$$M = 77,5 \times 0,84 = 65^k\text{gms } 1$$

et $r_2 = \frac{65,1}{8,2} = 7^k9$

au lieu de 14^k2 que l'on trouvait précédemment; travail total inférieur à :

$$R = r_1 + r_2 = 3^k6 + 7,9 = 11^k5 \text{ par millimètre carré.}$$

On voit que ce système d'appui permettrait de réduire à

6 mms l'épaisseur des tôles, et même un peu moins, si l'on conservait le même coefficient de travail que dans le cas précédent.

FONDATEMENTS DISCONTINUES, PAROIS AVEC ARMATURES.

Dès que les flexions ont une certaine importance, il est préférable d'augmenter la rigidité des parois au moyen d'armatures rationnelles, plutôt que d'en majorer les épaisseurs. Nous avons vu qu'il vaut mieux adopter des armatures transversales rapprochées, dans le cas des très grands diamètres.

Soit donc une conduite de 3 mètres de diamètre, supportant une pression d'eau de 30 mètres.

Les parois pourront être en tôles d'acier doux, de 7 mms d'épaisseur, renforcées tous les mètres courants par des armatures en cornières.

Nous admettons que ces armatures reposent sur une fondation plane, qui pourra être discontinue, la conduite n'étant appuyée qu'au droit des armatures seulement.

Ces armatures ont été indiquées sur la coupe transversale de la conduite. Elles sont formées de deux cornières de 100 × 100 × 12, renforcées par un cadre rigide en tôles et cornières, à leur partie inférieure, et elles prennent appui sur le massif de fondation suivant une zone de 30° de part et d'autre de l'axe vertical de la conduite.

Efforts normaux. — La pression de 30 mètres d'eau correspond à une tension dans les parois de :

$$\frac{30\ 000 \times 3,00}{2} = 45\ 000 \text{ k par mètre courant.}$$

Section d'un mètre courant de paroi (tôles et deux cornières d'armature) : 11 512 millimètres carrés.

Travail maximum du métal à la tension :

$$r_1 = 45\ 000 = 3\ 91 \text{ par millimètre carré.}$$

Flexions dues aux forces déformatrices. — Dans la formule générale :

$$M = (p R^2 + \frac{1}{2} \delta R^3) Z$$

nous aurons :

$$p = 90 \text{ k (poids des parois au mètre carré)}$$

$$\delta = 1\ 000 \text{ k} \quad R = 1\ 500$$

ce qui donne :

$$p R^2 + \frac{1}{2} \delta R^3 = 202,5 + 1\ 687,5 = 1\ 890$$

Les armatures étant disposées tous les mètres courants, ce moment correspond aux flexions que doit combattre chaque armature.

Pour simplifier les calculs, et par mesure de sécurité, nous négligerons l'action des tôles des parois, et nous ne compterons, comme moment d'inertie des parois, que celui des cornières de l'armature seulement.

Dans sa partie renforcée par le cadre rigide inférieur, en tôles et cornières, le moment d'inertie de l'armature est beaucoup plus grand que dans la région ne comprenant que deux cornières. Aussi peut-on considérer les déformations de l'armature, dans la zone du cadre inférieur, comme négligeables devant celles de la partie courante, ce qui revient à calculer cette zone supérieure comme une pièce encastrée à ses attaches sur le cadre, soit à 30° de la verticale.

La fonction Z que l'on peut admettre ici comme convenant le mieux aux dispositions pratiques adoptées sera donc représentée par la branche de courbe n° 4 comprise de 30° à 180°.

Les plus grandes valeurs de Z ont donc lieu :

$$\text{à } 30^\circ, \text{ où l'on a : } Z = 0,670$$

$$\text{à } 90^\circ, \quad \text{—} \quad Z = 0,329$$

$$\text{à } 180^\circ, \quad \text{—} \quad Z = 0,275$$

Dans la section à 30°, les deux cornières 100 × 100 × 12 sont rivées sur la tôle de 7 mms du cadre, à laquelle elles sont fixées sur une longueur assez grande, depuis l'origine de l'attache, pour que cette tôle puisse être comptée dans la section. Sa longueur suivant le rayon est de 500 mms environ.

Dans ces conditions, l'on a :

Moment d'inertie : $I = 0,000\ 173$ (1 tôle 500 × 7, 2 cornières 100 × 100 × 12).

Distance de l'axe neutre aux fibres les plus éloignées : $\nu = 0,3742$.

Module de résistance : $\frac{I}{\nu} 10^6 = 462$.

Moment de flexion : $M = 0,670 \times 1\ 890 = 1\ 266 \text{ kgms.}$

Travail maximum du métal, par millimètre carré :

$$r_2 = \frac{M}{10^6 \frac{I}{\nu}} = \frac{1\ 266}{462} = 2\ 74 \text{ (compression)}$$

Dans la section à 90°, l'armature comprend deux cornières seulement.

On a : $I = 0,0000042$ $\nu = 0,0706$ $10^6 \frac{I}{\nu} = 60$

Moment de flexion : $M = 0,329 \times 1\ 890 = 622 \text{ kgms.}$

Travail maximum du métal, tension par millimètre carré :

$$r_2 = \frac{622}{60} = 10\ 37$$

Dans la section à 180°, la valeur de Z étant plus faible que la précédente et la section d'armature la même, on aurait pour r_2 un coefficient moins élevé.

La plus grande valeur de r_2 a donc lieu à 90°, où l'on a :

$$r_2 = 10\ 30$$

par millimètre carré.

Le travail maximum total du métal des parois, la conduite étant en charge, se produit donc dans la section à 90° et sa valeur est inférieure à :

$$R = r_1 + r_2 = 3,91 + 10,30$$

Tension par millimètre carré : $= 14,21$, coefficient admissible, car il reste une marge suffisante au-dessous du coefficient d'élasticité du métal.

CONCLUSIONS

Nous remarquons tout d'abord que les formules que nous avons établies correspondent à des hypothèses théoriques précises et bien définies. Aussi ne pourront-elles

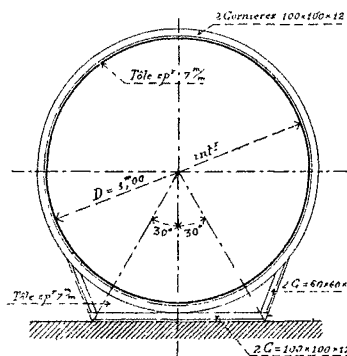


Fig. 7.

Tuyau de 3 ms de diamètre.

nous fournir que des résultats approchés, dans les applications, car les conditions de la pratique sont trop complexes pour pouvoir être traduites par des formules simples qui tiennent compte à la fois de tous les éléments du problème.

Il en est généralement ainsi, dans toutes les questions de résistance des matériaux, et nous nous sommes bornés à rechercher une méthode de calcul qui permette d'évaluer par excès les plus grandes fatigues moléculaires dues aux forces déformatrices dont nous avons étudié les effets.

Nous avons vu qu'il reste une certaine part réservée à l'appréciation, dans le choix des formules à employer pour une application pratique déterminée. Nous avons donc cherché à obtenir une précision suffisante pour les besoins ordinaires de la pratique en établissant les formules correspondant à des cas théoriques assez nombreux, *entre lesquels* pourront se classer sans trop d'écart les dispositions pratiques étudiées, de manière à obtenir des limites par excès, pour le travail des parois.

C'est également des coefficients par excès que l'on obtient pour le travail total sous l'action des forces déformatrices et des tensions dues à la pression intérieure, lorsque l'on ajoute algébriquement les effets des deux forces, considérées isolément. Ainsi que nous l'avons remarqué, au début de cette étude, les pressions intérieures dans une conduite en charge tendent à diminuer les ovalisations et à réduire le travail dû aux flexions.

Pour ces différentes raisons, nous estimons que l'on peut adopter des coefficients de travail élevés, et même voisins de la limite d'élasticité, dans tous ces calculs.

Des résultats plus précis pourraient sans doute être obtenus par une étude plus complète de la question. Mais les formules auxquelles on arrive sont alors beaucoup plus compliquées.

Pour traiter le problème dans toute sa généralité, il serait en effet nécessaire de considérer le cas d'une conduite posée sur des appuis discontinus, espacés à des distances quelconques les uns des autres, les formules tenant compte de la solidarité des déformations longitudinales et transversales de la conduite, sous l'action de toutes les forces qui la sollicitent.

On pourrait alors en toute certitude établir de grosses canalisations sur des appuis espacés, en armant au besoin les parois d'une façon rationnelle.

En l'absence de formules de ce genre, nous ne pouvons que nous borner à conseiller, pour les *grands diamètres*, des appuis continus ou suffisamment rapprochés pour que les flexions longitudinales soient négligeables, et que l'on n'ait plus à tenir compte que des effets de la pression et des fatigues dues aux déformations transversales.

Ces dispositions sont d'ailleurs adoptées généralement dans la pratique, pour les grosses conduites. Si des conditions locales imposaient des appuis espacés, on aurait recours à un double système d'armatures transversales entretoisées par des armatures longitudinales disposées suivant les génératrices, et qu'il serait aisé de calculer en négligeant par exemple la résistance de la paroi, dans le calcul des armatures longitudinales, et en calculant les armatures transversales d'après les forces déformatrices correspondant à leurs espacements.

Nous ne croyons pas qu'il y aurait un très grand intérêt à rechercher des formules plus précises pour un calcul de ce genre, cette disposition semblant devoir être fort exceptionnelle dans la pratique.

Car lorsque l'on a des portées assez grandes à franchir avec de grosses conduites, il paraît rationnel de les soutenir en ces endroits par des poutres métalliques ou des ouvrages maçonnés, spécialement étudiés à cet effet.

Quant aux conduites de *faible diamètre*, posées le plus ordinairement sur appuis espacés, nous estimons suffisant de les calculer comme on le fait généralement, en négligeant les déformations transversales des sections et ne tenant compte que des effets de la pression.

Les fatigues dues aux déformations longitudinales entre appuis se calculent alors par les formules ordinaires des poutres droites continues.

On pourra, par précaution, renforcer les sections au droit des appuis par des armatures transversales robustes, qui résistent avec efficacité aux réactions locales produites en ces endroits par la charge des travées contiguës.

Pour les conduites en tôles rivées, l'étude des flexions dans les parois donnera d'utiles indications, pour les dispositions à adopter dans la *rivure longitudinale* des viroles successives.

Ainsi que nous l'avons observé, dans notre article sur les flexions pendant le remplissage, il n'est pas indifférent de disposer les files de rivets suivant des génératrices quelconques, comme on le fait généralement.

Les rivures longitudinales doivent être disposées suivant les génératrices pour lesquelles les moments de flexion dus aux forces déformatrices sont nuls, ou du moins dans le voisinage de ces génératrices, et un calcul sommaire dans chaque cas donne rapidement des indications suffisantes à ce sujet. Pour les canalisations reposant sur une fondation plane, nous avons vu que ces génératrices sont à $33^{\circ} 41'$ et à $129^{\circ} 23'$ de la génératrice inférieure de contact. Les rivures longitudinales devront donc être dans ce cas à environ 30° et 130° de la génératrice inférieure. Il n'en résulte aucune sujétion nouvelle de construction et les avantages en sont manifestes, l'étanchéité de la rivure est plus facile à obtenir, et d'autre part les régions affaiblies par les trous de rivets ne travaillant pas sous l'action des forces déformatrices, la résistance des parois s'en trouve augmentée.

Nous terminerons en remarquant qu'indépendamment des applications aux conduites forcées, les formules qui précèdent sont susceptibles de donner dans certaines circonstances des résultats intéressants, notamment pour les calculs des parois dans les *souterrains tubulaires* en terrains aquifères. Nous citerons également le cas des *chaudières à vapeur cylindriques*. Suivant leur mode d'appui ou de suspension dans les massifs maçonnés qui les entourent, les tôles peuvent être soumises à des efforts secondaires importants, qui pourraient ne pas ressortir avec évidence du simple examen des plans de détails des appareils. Et l'on pourrait ainsi trouver par le calcul l'explication de phénomènes dont les causes premières n'apparaissent pas toujours nettement.

C. BIRAULT,

Ingénieur des Arts et Manufactures.