

621.851

NOTE SUR LA POULIE BOLLEN

par Ch. HANOCQ

Ingénieur A. I. Lg., A. I. M.

Professeur du cours de construction de machines à l'Université de Liège

(suite et fin)

Voir R. U. M. n° du 1^{er} décembre 1921

§ 2. — Recherches expérimentales des valeurs de φ et φ' à introduire dans les formules

Pour pouvoir tirer parti des formules que nous venons d'établir, nous avons étudié un appareil d'essai permettant de déterminer expérimentalement le rapport $\frac{T}{Q}$ pour différentes conditions de fonctionnement avec jante et câble non graissés, avec jante et câble graissés, etc.

Cet appareil est représenté figure 8. Une poulie normale Bollen est calée sur un arbre porté par deux paliers à billes. Le câble attaché à un ressort à l'une des extrémités, est soumis à l'autre à un effort T que l'on peut mesurer exactement grâce à l'utilisation d'un levier porté sur couteaux. La poulie porte un levier G_1 à l'extrémité duquel on peut appliquer des poids connus.

Dans tous les essais effectués, l'arc embrassé α était de 180° . Voici comment nous opérions.

Le plateau n° 2 étant chargé d'un poids connu P_2 déterminant un effort T à l'extrémité du câble, le ressort marquait une tension $t = T$. En appliquant une charge progressivement croissante sur le plateau n° 1 on déterminait la rotation de la poulie et la diminution de la tension t du ressort.

Pour un poids P , correspondant à un effort Q à la jante, le glissement se produisait ; on pouvait noter à ce moment la valeur l , vérifier accessoirement que $T - t = Q$, et évaluer le rapport $\frac{T}{Q}$ limite pour lequel le glissement avait lieu.

Des dispositions avaient été prises pour permettre de maintenir éventuellement immobile l'une par rapport à l'autre, les flasques de la poulie, et d'éviter ainsi le pincage provoqué par l'action du cercle dans la gorge.

Nous avons exécuté une série d'expériences en utilisant cette disposition : nous nous trouvons ainsi dans les mêmes conditions de fonc-

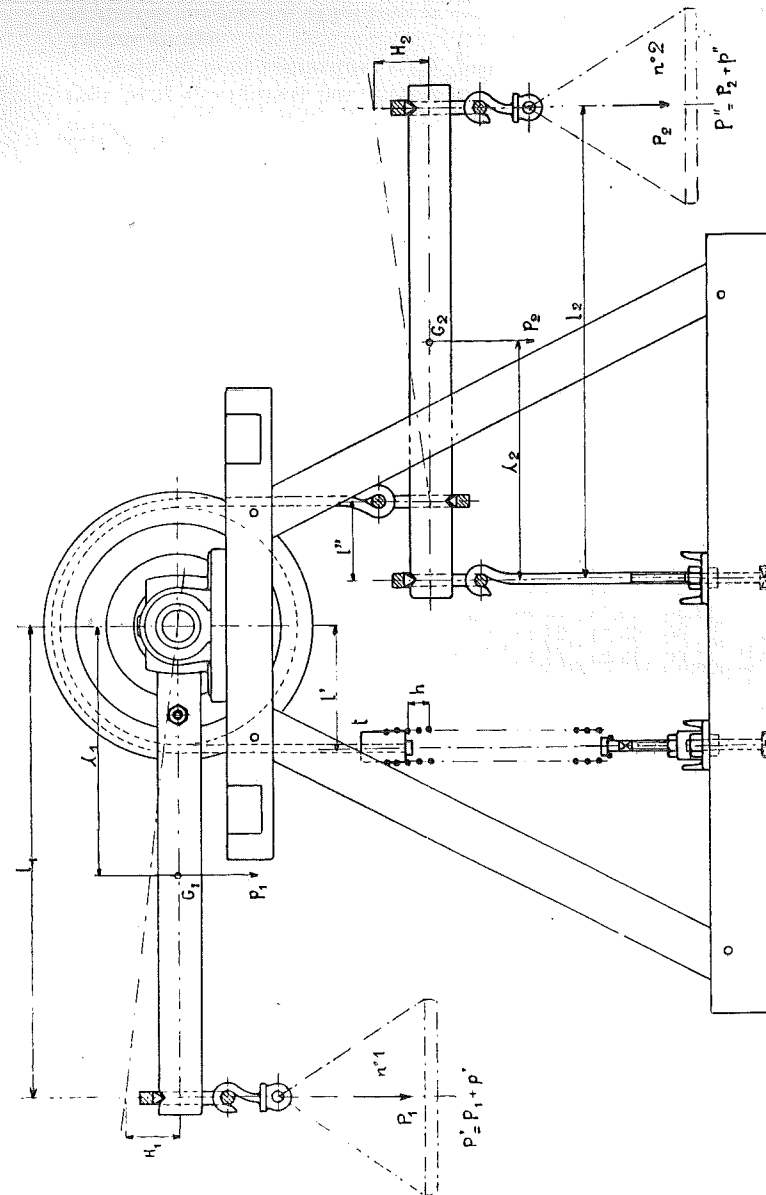


Fig. 8

$\frac{l_1}{l_2} = 4$ $\frac{l_2}{l_1} = 5,15$ $P_1 = 4 \text{ kg.}$ $P_2 = 3 \text{ kg.}$ $\lambda_1 = 335$ $\lambda_2 = 260$
 $P_1 \lambda_1 = P' l_1$ $P_2 \lambda_2 = P' l_2$ $P' = 1 \text{ kg.}$ 97

tionnement qu'avec une poulie ordinaire et partant nous pouvions déterminer la valeur de :

$$\left(\frac{T}{Q}\right)_n$$

correspondant à une poulie à gorge lisse, libre, sans pincage.

Nous avons effectué successivement plusieurs essais avec câble graissé et avec câble non graissé.

TABLEAU I.

donnant les valeurs observées au moment du glissement.

Dates	N°	Plateau n° 1		Plateau n° 2		$\frac{(T-l)}{Q} = P' \frac{l_1}{l_2}$	$T = P'' \times \frac{l_2}{l_1}$	$\frac{T}{Q}$	Observations
		P ₁	P'	P ₂	P''				
28 fév. 1919	1	1.1	3.35	3.4	5.37	13.40	27.50	2.05	Câble non pincé et non graissé.
	2	4.7	6.95	8.4	10.37	27.80	53.30	1.92	
	3	7.4	9.65	13.4	15.37	38.60	79.00	2.05	
	4	15.5	17.75	23.4	25.37	71.00	131.0	1.85	
	5	28.5	30.75	43.4	45.37	123.00	234.0	1.90	
28 fév. 1919	1	2.70	4.95	3.4	5.37	19.80	27.60	1.39	Câble pincé et non graissé.
	2	8.20	10.45	8.4	10.37	41.70	53.30	1.28	
	3	13.50	15.75	13.40	15.37	63.00	79.00	1.25	
	4	23.50	25.75	23.40	25.37	104.00	130.5	1.25	
	5	47.00	49.25	43.40	45.37	197.00	243.5	1.235	
28 fév. 1919	2	4.3	6.55	8.4	10.37	26.20	53.30	2.04	Câble non pincé et non graissé.
	3	7.50	9.75	13.4	15.37	39.00	79.00	2.02	
	4	15.50	17.75	23.4	25.37	71.00	131.0	1.85	
	5	28.50	30.75	43.4	45.37	123.0	234.00	1.90	
	11 mars 1919	1	0.25	2.50	3.40	5.37	10.00	27.65	
2		2.70	4.95	8.40	10.37	19.80	53.40	2.70	
3		5.25	7.50	13.40	15.37	30.00	79.15	2.64	
4		11.20	13.45	23.40	25.37	53.80	130.65	2.43	
5		23.50	25.75	43.40	45.37	103.00	233.65	2.26	
11 mars 1919	1	1.30	3.55	3.40	5.37	14.20	27.65	1.94	Câble pincé et graissé.
	2	4.80	7.05	8.40	10.37	28.20	53.40	1.84	
	3	10.20	12.45	13.40	15.37	49.80	79.15	1.59	
	4	19.00	21.25	23.40	25.37	85.0	130.65	1.53	
	5	36.50	38.75	43.40	45.37	155.00	233.65	1.50	

Le tableau I ci-dessus donne les résultats des expériences effectuées les 28 février et 11 mars 1919.

Les chiffres obtenus pour $\frac{T}{Q}$ dans les mêmes conditions de graissage, mais sous des charges T croissantes, se sont montrés assez concordants. Il ne faut pas perdre de vue pour apprécier les résultats à ce point de

vue, que les chiffres indiqués sont ceux qui correspondent au glissement, et que la manière d'appliquer la charge a une influence sensible sur la valeur limite.

Ce qu'on peut remarquer c'est que le rapport diminue avec la charge. Cela peut s'expliquer par l'influence de la raideur du câble et du frottement de l'axe dans les paliers dont l'influence relative diminue à mesure que la charge augmente. Nous pensons qu'il convient pour cette raison de prendre, pour valeur normale, la moyenne des valeurs correspondant aux charges relativement élevées.

TABLEAU II.

donnant le rapport R pour les différents essais.

Dates	N°	Câble non pincé			Câble pincé			$R = \frac{T}{Q} : \left(\frac{T}{Q}\right)_n$	Observations
		Q	T	$\left(\frac{T}{Q}\right)_n$	Q	T	$\frac{T}{Q}$		
28 fév.	1	13.4	27.50	2.05	19.80	27.60	1.39	0.675	sans graissage 0.645
	2	27.80	53.30	1.92	41.70	53.30	1.28	0.665	
	3	38.60	79.00	2.05	63.00	79.00	1.25	0.610	
	4	71.00	131.00	1.85	104.00	130.5	1.25	0.675	
	5	123.00	234.00	1.90	197.00	243.5	1.235	0.650	
11 mars	1	10.00	27.65	2.76	14.20	27.65	1.94	0.702	av. graissage 0.630
	2	19.80	53.40	2.70	28.20	53.40	1.89	0.700	
	3	30.00	79.00	2.64	49.80	79.00	1.59	0.600	
	4	53.80	131.00	2.43	85.00	131.00	1.53	0.630	
	5	103.00	234.00	2.26	155.00	234.00	1.50	0.665	

On peut conclure de l'examen des chiffres inscrits dans le tableau II :

1° que le rapport $\left(\frac{T}{Q}\right)_n$ se rapportant au cas de la poulie sans pincage peut être très égal :

à 1.95 avec câble non graissé,
à 2.45 avec câble graissé ;

2° que le rapport $\left(\frac{T}{Q}\right)_n$ se rapportant au cas de la poulie avec pincage, a pour valeur :

1.25 avec câble non graissé,
1.54 avec câble graissé ;

3° que le rapport R peut être pris voisin de ;
0,635

que le câble soit graissé ou non graissé.

Toutes ces valeurs se rapportent bien entendu aux conditions réalisées :

$$2\beta = 44^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ$$

Des expériences effectuées avec la poulie sans pincement, nous pouvons déduire la valeur de $\operatorname{tg} \varphi'$ correspondant au frottement du câble sur le cercle pour les deux cas sans graissage et avec graissage.

En introduisant dans la formule :

$$\frac{T}{Q} = \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1}$$

$$\frac{T}{Q} = 1,95, \alpha = \pi, \text{ on trouve :}$$

$$f = \operatorname{tg} \varphi' = 0,23$$

Pour :

$$\frac{T}{Q} = 2,45 \quad \alpha = \pi$$

$$f = \operatorname{tg} \varphi' = 0,16$$

Ainsi nous pouvons admettre que dans les conditions où nous avons opéré :

$$\begin{array}{ll} f = 0,23 & \text{sans graissage,} \\ f = 0,16 & \text{avec graissage.} \end{array}$$

Transportant ces valeurs dans l'équation (15) il nous a été possible de déterminer φ , connaissant la valeur de R que nous pouvons prendre égale à 0,635.

Pour la poulie expérimentée $\frac{r_1}{r_1'} = 0,74 \quad \alpha_1 = \frac{2}{5} \alpha$ soit 1,25, $\beta = 22^\circ$. On trouve dans ces conditions :

$$\operatorname{tg} (\beta + \varphi) = 0,525 \quad \beta + \varphi = 27^\circ \frac{7}{10} \quad \varphi = 5^\circ \frac{7}{10} \quad f = \operatorname{tg} \varphi = 0,100$$

Ce chiffre fourni par le calcul, du coefficient de frottement du cercle en fer sur la gorge en fonte, correspond à la valeur indiquée pour des surfaces légèrement onctueuses. On peut donc admettre qu'après un certain temps de fonctionnement, lorsque les surfaces en contact se sont polies et que la gorge est bien graissée, l'angle de $\varphi = 5^\circ$ dut être regardé comme normal.

§ 3. — Conclusions

D'après les résultats des expériences effectuées au moyen de l'appareil d'essai que nous venons de décrire, on peut déduire qu'avec un câble bien graissé tel qu'on doit l'employer dans la pratique pour éviter la détérioration par l'humidité, on peut adopter :

$$f = \operatorname{tg} \varphi' = 0,16$$

et pour l'angle φ une valeur voisine de :

$$\varphi = 5^\circ$$

Avec :

$$\alpha = 180^\circ$$

$$2\beta = 44^\circ$$

$$\frac{T}{Q} = 1,54$$

c'est-à-dire moins des $\frac{2}{3}$ de la valeur obtenue avec une poulie ordinaire.

Le rapport R que nous avons trouvé égal à 0,635 pour $\alpha = 180^\circ$, va s'améliorant lorsque l'angle embrassé diminue, c'est-à-dire que l'avantage de la poulie Bollen est plus marqué pour les angles inférieurs à 180° .

Pour $\alpha = 160^\circ$ R = 0,600.

Pour $\alpha = 140^\circ$ R = 0,560.

Ces valeurs peuvent être considérablement augmentées, lorsqu'on adopte pour 2β un angle plus petit et que l'on peut faire descendre jusque $2\beta = 30^\circ$.

Nous avons eu l'occasion de répéter des expériences sur une poulie de plus grand diamètre, dont l'angle 2β était égal à 33° . Ces expériences ont été faites avec câble graissé et cercle graissé dans des conditions normales.

L'angle embrassé était de 180° , le diamètre moyen d'enroulement de 850 mm.

Le diamètre moyen de la gorge en V pouvait être évaluée à 770 mm.

Le diamètre du câble était de $\frac{1}{2}$ ". Le glissement se produisait pour

un rapport $\frac{T}{l}$ voisin de 3,8 (nettement inférieur à 4,0), soit :

$$\frac{T}{Q} = \frac{T}{T - t} = \frac{3,8}{2,8} = 1,355.$$

En introduisant les données et la valeur de $\frac{T}{Q}$ dans la relation (15) on obtient :

$$\operatorname{tg} (\beta + \varphi) = 0,394 \quad \beta + \varphi = 21 \frac{5}{10} \quad \varphi = 5^\circ.$$

Ainsi se trouve confirmée cette valeur de 5° que nous indiquions pour l'angle φ ; on peut donc dire que la formule que nous avons établie, s'applique dans des limites très étendues avec une approximation tout à fait satisfaisante, lorsque l'on adopte :

$$\begin{array}{ll} \operatorname{tg} \varphi' = 0,16 & \varphi = 5^\circ \\ \alpha_1 = \frac{2}{5} \alpha & \end{array}$$

Avec $\beta = 16^\circ \frac{1}{2}$ et les grandes poulies pour lesquelles $\frac{r_1}{r_1'}$ est plus voisin de l'unité, on peut dire que $\frac{T}{Q}$ se rapproche de 1,3, contre 2,5 avec la poulie ordinaire, dans les conditions de sollicitations identiques (même angle embrassé, etc.). On peut donc conclure que dans les conditions normales d'application, la poulie Bollen permet de réduire

la tension maximum T dans le rapport $\frac{2,5}{1,3}$ soit en chiffres ronds $\frac{2}{1}$ si on la compare à la poulie à gorge ordinaire lisse. Il ne peut évidemment être question de la comparer avec la poulie à gorge en V qui amènerait une détérioration rapide du câble ; cette disposition n'est d'ailleurs jamais employée avec les câbles métalliques.

Il importe, en effet, d'insister à nouveau sur ce que le pinçage provoqué par la disposition brevetée de la poulie Bollen, n'est en rien comparable à celui qui se produirait dans une poulie à gorge en V. Dans la poulie Bollen le serrage latéral est progressif, le câble s'engage sans glissement latéral sur les parois de la gorge et se dégage sans arrachement comme cela a lieu lorsque le câble est engagé dans la gorge en V d'une poulie ordinaire.

On voit par conséquent tout le parti que l'on peut tirer de la poulie étudiée ici pour des applications spéciales notamment aux câbles des machines d'extraction genre Koepe, des transporteurs aériens, des plans inclinés, etc.

§ 4. — Application des formules au calcul d'une poulie d'extraction, genre Koepe

Nous venons de voir qu'il est possible d'augmenter considérablement la valeur limite du rapport des tensions $\frac{T}{t}$ avec la poulie Bollen.

Ce résultat est extrêmement favorable au point de vue de son utilisation comme poulie d'extraction parce qu'il permet d'éviter, dans les périodes de démarrage ou de freinage brusques, un glissement du câble dans la gorge. Ce glissement, que l'on constate fréquemment avec une poulie ordinaire, est non seulement préjudiciable à la conservation du câble mais dangereux parce qu'il tend à rendre inexacts les indications des appareils enregistreurs de niveau.

Pour montrer comment varie le rapport $\frac{T}{t}$ dans les périodes de démarrage ou de freinage brusques, représentons par :

- Q le poids mort comprenant celui de la cage et des wagonnets vides,
- q le poids utile,
- p le poids par unité de longueur, du câble et du contre-câble,
- L la profondeur d'extraction,
- φ l'accélération communiquée aux charges.

Le rapport des tensions $\frac{T}{t}$ correspondant aux charges statiques, aura pour valeur :

$$\frac{T}{t} = \frac{Q + q + pL}{Q + pL} \quad (18)$$

(puisque le contre-câble existe toujours avec le système Koepe) tandis

qu'en tenant compte de l'accélération, il prendra la valeur maximum suivante :

$$\frac{T}{t} = \frac{(Q + q + pL) \left(1 + \frac{\varphi}{g}\right)}{Q + pL \left(1 - \frac{\varphi}{g}\right)} = \frac{(Q + q + pL) (g + \varphi)}{(Q + pL) (g - \varphi)} \quad (19)$$

Cette relation montre que pour une accélération de 2 m./seconde, le rapport correspondant aux charges statiques, est multiplié par 1,5. Comme dans les conditions habituellement réalisées :

$$\frac{T}{t} = \frac{Q + q + pL}{Q + pL},$$

varie entre 1,3 et 1,5 suivant la profondeur et l'importance relative du poids mort Q , on voit que l'accélération au démarrage peut porter cette valeur à 2,25.

Or nous avons vu qu'avec une poulie ordinaire ce rapport prend la valeur :

$$\frac{T}{t} = e^{f\alpha}$$

Si on adopte pour coefficient de frottement f la valeur 0,16 trouvée précédemment pour un câble graissé sur gorge en fer, et pour angle embrassé $\alpha = \pi$ (180°) valeur minimum réalisée :

$$\frac{T}{t} = e^{f\alpha} = 1,65.$$

Si le coefficient de frottement f est porté à 0,25 par l'emploi d'une garniture en bois ou en cuir placée dans la gorge, la valeur limite peut passer à :

$$\frac{T}{t} = e^{f\alpha} = 2,25.$$

Ainsi toute accélération dépassant 2 m/sec. doit provoquer nécessairement le glissement même si on a pris la précaution de garnir la jante de la poulie.

Si nous avons recours à la poulie Bollen nous pouvons réaliser un rapport nettement plus grand que 2,25. Avec :

$$2\beta = 40^\circ \quad \alpha = 180^\circ \quad \frac{r_1}{r_2} = 0,95$$

$$\frac{T}{t} = 3,4$$

Il convient de ne pas exagérer le rapport de façon à éviter, en cas de résistance anormale, que l'effort limite qui provoque le glissement, ne soit voisin de la charge de rupture du câble.

Le cas le plus défavorable qui peut se présenter à ce point de vue, est celui qui correspond à l'hypothèse suivante : cage descendante chargée au maximum ; cage montante vide rencontrant une résistance F .

Dans ce cas :

$$\frac{T}{l} = \frac{Q + pL + F}{Q + q + pL} = k \quad (20)$$

Le câble étant calculé pour résister à l'effort normal ($Q + q + pL$), on voit que l'effort maximum auquel il sera soumis dans le cas d'une résistance F à la montée, pourra atteindre k fois l'effort normal, k désignant le rapport limite qui provoque le glissement. En choisissant ce rapport $k = 3,4$ comme nous le proposons, on ne s'exposera pas à un accident grave, car le coefficient de sécurité étant toujours supérieur à 6, et le temps d'application d'un effort anormal de cette espèce étant forcément très court, la rupture ne saurait s'en suivre.

Avec cette valeur de k voisine de 3,5, il sera par contre presque toujours possible de faire l'extraction sans supprimer l'emploi de taquets au fond. En effet, lorsque la cage du fond se porte plus sur le câble, le rapport $\frac{T}{l}$ prend la valeur :

$$\frac{T}{l} = \frac{Q + q + pL}{pL} = k_1$$

qui pour les grandes profondeurs correspond à 2,5 et pour les faibles profondeurs ne dépasse pas 3,5.

Or l'emploi de taquets au fond constitue le meilleur évite-molettes que l'on puisse concevoir avec la machine d'extraction genre Koepe, puisqu'il suffit de provoquer par le rapprochement des guidonnages, une résistance supplémentaire F telle que :

$$\frac{Q + q + pL + F}{pL} = k$$

pour provoquer le glissement du câble.

Il est aisé de montrer que cet effort F est relativement faible et ne saurait compromettre la résistance du câble, car le rapport de F sur l'effort normal ($Q + q + pL$) qui représente l'accroissement % du taux de travail, a pour valeur :

$$\frac{F}{Q + q + pL} = \frac{k pL}{Q + q + pL} - 1 = \frac{k}{k_1} - 1$$

soit pour $k = 3,5$, la valeur limite de :

$$\frac{3,5}{2,5} - 1 = 0,4 \text{ ou } 40 \%$$

Pour terminer nous ferons remarquer que la valeur élevée du rapport k que peut fournir la poulie étudiée ici, peut encore présenter l'avantage d'éviter dans la plupart des cas, la chute de la cage montante dans l'hypothèse d'une rupture du contre-câble à la cage descendante ; le rapport $\frac{T}{l}$ prend, en effet, la valeur :

$$\frac{T}{l} = \frac{Q + q + pL}{Q}$$

qui ne dépasse généralement pas 3,5 même aux grandes profondeurs.

Une question qui mérite de retenir l'attention est celle de savoir si la pression par unité de longueur qui s'exerce entre les flasques et le câble, ne dépasse pas une valeur admissible.

La formule (7) permet de calculer l'effort total F que dans la pratique, nous pouvons admettre comme étant réparti sur un arc voisin de $\frac{\pi}{2}$; la pression moyenne par unité de longueur ressort donc dans cette hypothèse, à :

$$p = \frac{F}{\pi r_1'} = \frac{T + t}{2} \times \frac{r_1}{r_1'} \frac{1}{\text{tg}(\beta + \varphi)} \frac{1}{\pi r_1'}$$

ce qui, pour les valeurs admises,

$$2\beta = 40^\circ, \varphi = 5^\circ, \\ T = 3,5 t,$$

conduit à :

$$p = \frac{T \left(1 + \frac{1}{3,5}\right)}{2} \times 0,95 \times \frac{1}{0,46} \times \frac{1}{\pi r_1'} = \frac{1,33 T}{\pi r_1'}$$

ou :

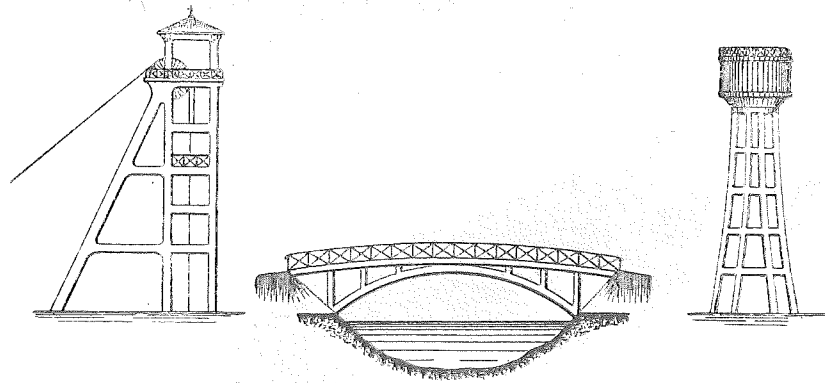
$$p = 0,85 \frac{T}{r_1'}$$

Comme la répartition de l'effort sur la totalité de l'arc, n'est pas uniforme, la pression maximum est notablement plus élevée mais elle n'est pas sensiblement supérieure à la pression qui s'exerce entre le câble et le cercle, pression qui d'après la formule (10), a pour valeur maximum :

$$p = \frac{T}{r_1'}$$

Avec les rayons d'enroulement auxquels la pratique a conduit, il n'y a donc pas lieu de craindre une pression du câble entre les flasques de nature à réduire la durée de celui-ci.

Ces considérations nous permettent de conclure que la poulie dont nous venons d'analyser le fonctionnement, est appelée à un avenir certain dans le domaine des applications spéciales parce qu'elle permet d'atteindre des valeurs élevées du rapport $\frac{T}{l}$ que l'on ne pourrait réaliser sans de sérieux inconvénients avec la poulie ordinaire et que ce résultat est obtenu par une disposition extrêmement simple ne comportant ni pièces ni organes délicats pouvant se desserrer en marche ou subir une détérioration rapide par usure.



Entreprises Ch. TOURNAY

Société Coopérative

1, rue des Anges, à LIÈGE

BÉTON ARMÉ

1^{re} section : GRANDS TRAVAUX

Ponts, Passerelles, Réservoirs, Châteaux d'eau, Silos, Bâtiments, etc.

Chevalements de mines (31 construits ou en construction)

2^e section : ATELIER DE FLOREFFE

Dalles pour planchers creux, Bloes et Dalles pour murs creux,

Tuyaux, etc.

Adresse télégraphique : Tournay, Liège

Liège : 4448 et 1689

Téléphones { Somain (Nord) : 29

Strasbourg :

Chèques postaux 4027

Banque Générale de Liège

Société Générale de Valenciennes

Société Générale Alsacienne à Strasbourg

93 R 24

6^{me} SERIE
TOME XI. — N° 6

64^{me} ANNEE

15 DÉCEMBRE 1921

Société Géologique
de Belgique

REVUE UNIVERSELLE DES MINES

LIÈGE

DE LA

MÉTALLURGIE, DES TRAVAUX PUBLICS
DES SCIENCES ET DES ARTS APPLIQUÉS A L'INDUSTRIE

Annuaire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège

A. I. Lg.

UNION PROFESSIONNELLE RECONNUE

SOMMAIRE :

Mémoires :

- CHAUVIN, H. — Avant-projet de la captation des énergies hydrauliques belges [629.2 + 627.1 (493)] (à suivre) p. 629
LYKIARDOPOULO, N. — La géologie des gisements de Pêchelbronn 553.28 (44) p. 645

Bulletin :

- DELCOMMUNE, L. — Méthodes étrangères de tracés de cannelures de cylindres de laminoir (669.1 + 621.944.24) (fin) p. 660
HANOCQ, Ch. — Note sur la poulie Bollen (621.851) (fin) p. 668
BIHET, O. — Méthodes de filetage (621.881) (fin) p. 678
LAMALLE, U. — Désignation abrégée des types de locomotives (621.132) p. 684
LEPERSONNE, F. — Recherches expérimentales sur les propriétés mécaniques des aciers à haute température (669.913.4) p. 689
Chronique :
GILLET, P. — Le verre de quartz (666.12) (à suivre) p. 696
Note sur les briques de silice (666.76) p. 706
Revue des Périodiques techniques : pp. 708 à 748
Bibliographie pp. 749 à 751

Revue paraissant le 1^{er} et le 15 de chaque mois

publiée sous la direction du Comité scientifique de l'A. I. Lg.

Abonnement : Un an, 72 frs. — Le Numéro : 5 frs

ADMINISTRATION ET RÉDACTION :

16, Quai des Etats-Unis, LIÈGE

IMPRIMERIE H. VAILLANT-CARMANNE, 4, PLACE SAINT-MICHEL, LIÈGE

1921