

CHRONIQUE

Quelques études récentes sur les câbles d'extraction.

L'action des chocs. — La résonance des câbles métalliques.

Les grands progrès réalisés en ces dernières années, dans le domaine de la mécanique appliquée, notamment l'emploi de machines à grandes vitesses et celui des moteurs à explosion ont attiré l'attention des techniciens sur l'importance des vibrations et des chocs auxquels sont soumis les organes des machines, Il importe désormais que ceux-ci soient calculés, en vue de résister aux efforts dynamiques. La considération des mêmes phénomènes vibratoires s'impose dans l'étude des câbles d'extraction ; cette nécessité se manifeste, dans notre pays, depuis que, suivant l'évolution de l'outillage technique et l'approfondissement des mines, on extrait de lourdes charges, à de grandes profondeurs, avec des vitesses supérieures à celles, anciennement admises.

Les Annales ont signalé (t. XX, 3^e livraison), les recherches expérimentales faites par M. Canivet en vue d'apprécier la grandeur des efforts dynamiques. Les expériences de cet ingénieur ont établi qu'il est prudent d'admettre qu'ils varient de 0,5 à 1,5 fois les efforts statiques.

Dans le numéro du 1^{er} mai 1920, de la Revue Universelle des Mines, M. Delbrouck, ingénieur en chef des mines, a exposé ses études sur l'action des chocs sur les câbles d'extraction. Il a montré d'une façon simple, l'influence de la réflexion des ondes de choc aux extrémités des câbles, et il a déterminé les variations brusques d'efforts qui en résultent, ainsi que les rapports entre les efforts maxima ainsi produits et les efforts statiques. Dans des exemples numériques, relatifs à un câble de grande longueur, 833^m,00, il a montré qu'une chute de la cage de 1^m27 (à peu près la hauteur d'une étage de cette cage), donnait à la patte un effort égal à 2,5 fois l'effort statique et qu'une chute de 5^m,50 donnerait un effort égal à 4 fois l'effort statique. Le même auteur a ensuite comparé au point de vue de la résistance au choc, les câbles métal-

liques et les câbles en aloès; il résulte de ses calculs que ces derniers offrent une résistance plus grande aux efforts dynamiques.

Ces recherches apportaient de nouvelles lumières dans une question très importante et fort obscure: mais, le phénomène bien connu de tous les ingénieurs et consistant en des oscillations exagérées de la cage et du câble, oscillations enregistrées sur les diagrammes de M. Canivet, n'avait pas, jusqu'en ces derniers temps, reçu d'explication bien nette.

Dans le numéro du 1^{er} février 1921, de la Revue Universelle des Mines, un éminent ingénieur, M. R. A. Henry, a publié une étude sur ces phénomènes de résonance.

Il considère qu'un câble en mouvement de translation est soumis, à sa partie supérieure, à un mouvement secondaire, oscillatoire et périodique, résultant de l'excentricité, si faible soit-elle, que présentent toujours les tambours et les bobines. Un tel mouvement se propage dans le câble, supposé parfaitement élastique, et satisfait à l'équation classique des cordes vibrantes:

$$\frac{ds^2}{dt^2} = V^2 \frac{d^2s}{dx^2} \quad (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} s = \text{déplacement d'une tranche.} \\ x = \text{distance d'un point du câble à l'origine.} \\ V = \text{vitesse de propagation de l'onde.} \end{array} \right.$$

En s'imposant les équations de conditions qui doivent être vérifiées aux extrémités:

$$s = r (1 - \cos \omega t) \quad (2) \quad \left\{ \begin{array}{l} s = \text{déplacement dû à l'excentricité à la} \\ \text{partie supérieure,} \end{array} \right.$$

$$p_L S = M \frac{d^2s_L}{dt^2} \quad (3) \quad \left\{ \begin{array}{l} p_L = \text{effort à la patte.} \\ S = \text{section.} \\ s_L = \text{déplacement de la patte.} \\ M = \text{masse de la cage.} \end{array} \right.$$

l'auteur donne une intégrale de (1) $s(x,t)$ de la forme $r + \varphi(x, \omega) \cos \omega t$ (4), dans laquelle le coefficient $\varphi(x, \omega)$ de $\cos \omega t$, peut devenir infini, quand la relation suivante est satisfaite:

$$\frac{M}{S} \omega^2 \sin \frac{\omega L}{V} - \frac{E}{V} \omega \cos \frac{\omega L}{V} = 0 \quad (5) \quad \left\{ \begin{array}{l} \omega = \text{vitesse angulaire de} \\ \text{la machine.} \\ L = \text{longueur du câble.} \\ E = \text{coefficient d'élasticité} \end{array} \right.$$

La solution ainsi trouvée pourrait laisser place à quelques objections relatives aux calculs; la forme purement sinusoidale de la fonction, pour un point donné $s = r + \varphi(x, \omega) \cos \omega t$ semblerait a priori, trop simple; mais il faut observer que, dans un but de simplification, l'auteur a systématiquement négligé l'amortissement dû à la viscosité du câble, au frottement dans les guides et dans l'air, ainsi que l'influence de la variation périodique du couple moteur.

La fonction s serait ainsi une expression approchée du déplacement d'un point quelconque du câble; à la patte, on aurait

$$s_L = r + \varphi(L, \omega) \cos \omega t.$$

Par suite du mouvement vibratoire ainsi produit, à l'effort dynamique ordinaire $M(g + \varphi)$, s'ajoute la force d'inertie de ce mouvement secondaire, et l'effort total à la patte est

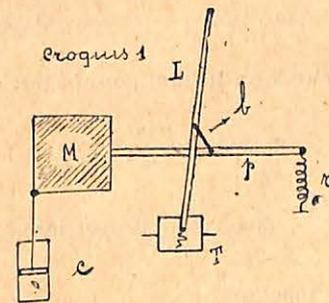
$$p = M \left(g + \varphi + \frac{d^2s}{dt^2} \right)$$

$\frac{d^2s}{dt^2}$ tend à s'accroître en valeur absolue, mais dès que celle-ci atteint $[g + \varphi]$, la cage « décolle », au moment $\frac{d^2s}{dt^2} = -(g + \varphi)$ et le mouvement oscillatoire cesse de s'amplifier; l'effort total à la patte du câble varie donc alors de 0 à $2M(g + \varphi)$, soit deux fois l'effort dynamique ordinaire.

Des expériences spécialement destinées à élucider les phénomènes de résonance ont été faites récemment en Allemagne.

Dans le numéro du 19 février 1921, de la revue « Glückauf », MM. Jahnke et Keinath en ont donné les résultats.

Ils ont enregistré les accélérations de la cage, en plaçant dans celle-ci l'appareil représenté schématiquement ci-contre. Il constitue un pendule dynamométrique de forme spéciale.

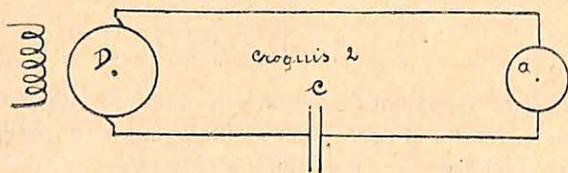


Une masse M , prolongée par une tige p , est reliée d'une part à un ressort r et d'autre part au piston d'une cataracte c ; la barre p est reliée, par un système schématisé par la bielle b , à un bras L .

A l'extrémité de celui-ci un crayon enregistre sur un tambour T les déplacements de cette extrémité. On établit aisément que ceux-ci, proportionnels aux déformations du ressort, enregistrent les forces

$$\text{d'inertie : } M \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

Simultanément, ils enregistraient les accélérations de la machine au moyen de l'appareil suivant : (croquis 2).



Une dynamo D, à courant continu, était intercalée dans un circuit comportant un condensateur c, et un milliampèremètre enregistreur a.

La dynamo était entraînée, par une transmission quelconque, par l'arbre de la machine d'extraction ; sa tension était :

$$E = K \times \Phi \times N \quad \left| \begin{array}{l} K = \text{constante.} \\ \Phi = \text{flux inducteur constant.} \\ N = \text{nombre de tours.} \end{array} \right.$$

La charge du condensateur était :

$$q = c E$$

Le courant passant dans le conducteur à un instant donné était :

$$i = - \frac{dq}{dt} = - c \frac{dE}{dt} = - c K \times \Phi \times \frac{dN}{dt},$$

comme $c K \Phi = \text{constante}$, $i = K_1 \frac{dN}{dt}$, donc était proportionnel à $\frac{dN}{dt}$, c'est-à-dire à l'accélération de la machine.

Les auteurs ont fait des essais sur des machines diverses, à tambours et à poulies Koëpe. actionnées par la vapeur ou l'électri-

cité. Les diagrammes relevés montrent que le phénomène de résonance se produit avec les machines d'extraction de tous systèmes et qu'il existe un certain rapport entre les oscillations de la cage et les accélérations de la machine. A ce point de vue, la machine d'extraction électrique, paraît plus avantageuse. Par leur méthode, les auteurs ont établi que dans certains cas la cage oscillait avec des accélérations de $\pm 6 \text{ m./sec}^2$, ce qui équivaut à peu près à faire varier les efforts dynamiques, dans le câble entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{5}{3}$ de fois les efforts statiques.

Des appareils de ce genre pourraient servir avantageusement à améliorer les conditions de marche des machines.

Les études qui viennent d'être résumées, établissent donc, que dans les câbles d'extraction, les efforts dynamiques peuvent atteindre fréquemment des valeurs voisines de deux fois les efforts statiques, et que des chocs même très faibles donnent facilement des tensions supérieures à ces valeurs. Si l'on tient compte, en outre, qu'il s'agit d'efforts variables et répétés, et que des efforts de flexion s'ajoutent aux efforts longitudinaux sur la molette ou sur les bobines, on comprend que, même sans envisager les altérations des fils, il est nécessaire d'exiger des coefficients de sécurité élevés, pour tous les câbles, même pour ceux de grande longueur.

Il serait intéressant de voir effectuer dans notre pays, des expériences analogues aux expériences allemandes. Dès maintenant, notons avec satisfaction les progrès ainsi réalisés dans l'étude de « l'aspect mécanique » de la question des câbles ; espérons que « l'aspect physique » — l'étude des corrosions et des transformations moléculaires — progressera de même.

E. DESSALLE.