

# MÉMOIRES

---

## ÉTUDE

D'UN

## ÉVITE - MOLETTE HYDRAULIQUE

PAR

R.-A. HENRY

Ancien Ingénieur du Corps des Mines

Chef de service aux Charbonnages du Hasard à Micheroux.

[62268]

---

Pour l'étude d'un évite-molette, le problème à résoudre comprend la création d'un dispositif s'opposant à une ascension intempestive de la cage pouvant amener celle-ci en contact avec les molettes. Je crois superflu d'insister sur le danger d'une telle rencontre; sur les catastrophes qu'elle peut provoquer pendant le transport des ouvriers et sur l'importance des dégâts matériels qui en résultent toujours.

Cet accident peut être imputé à un mauvais fonctionnement du modérateur de la machine d'extraction, à un défaut de freinage, à une rupture d'un organe important du mécanisme, ou enfin, et c'est le plus souvent le cas, à l'inattention du mécanicien (machiniste).

Le poste de machiniste d'extraction exige de la part de celui qui l'occupe, une attention tellement constante qu'il est du devoir de l'ingénieur de chercher à parer, autant que faire se peut, aux conséquences d'une distraction, même momentanée, du préposé à la conduite de la machine.

De nombreux appareils ont été construits pour agir sur le moteur, lorsque la cage dépasse un endroit fixé d'avance dans le puits; la plupart coupent la vapeur puis font agir le frein dès que la cage arrive au jour.

Toutefois ces appareils ne sont guère employés dans notre pays; la complication de leur mécanisme, peut-être leur prix élevé, la difficulté de les appliquer aux machines existantes, ainsi que la surveillance qu'ils exigent nécessairement, paraissent être les causes de leur emploi relativement restreint.

Le plus souvent l'exploitant se contente d'un dispositif placé sous les molettes et destiné à éviter leur mise en contact avec la cage.

L'appareil le plus rudimentaire de tous est constitué par deux poutres mises en travers du chemin de la cage, placées dans l'avant carré et destinées à s'opposer brutalement au passage de cette dernière; des taquets, dits de sûreté, sont disposés sous la cage pour éviter qu'elle ne retombe dans le puits.

Dans la plupart des cas on se contente de rapprocher les guides en espérant arrêter la cage par simple coïncement.

Enfin, un évite-molette, très employé en Allemagne, est constitué par un simple détache-cage ou crochet de sûreté s'ouvrant sous l'influence d'un dé clic quelconque lorsque le cuffat a dépassé les taquets de sûreté, rompant ainsi la liaison entre ce dernier et la machine d'extraction.

Dans le même but, on a également proposé d'installer au voisinage des molettes, des couteaux qui s'appliquent contre le câble et le sectionnent.

Tel est, rapidement résumé, l'état actuel de la question.

---



Avant d'aborder l'étude d'un évite-molette, il est absolument nécessaire de se rendre compte de l'importance des efforts à vaincre pour arriver à la solution du problème.

Dans un appareil d'extraction, le mouvement de la cage est indissolublement lié à celui de la machine par l'intermédiaire du câble; toutefois, une question se pose: quelle est la nature de la liaison entre la cage et la molette?

On sait que cette liaison dépend uniquement de l'adhérence entre le câble et la poulie de belle-fleur et la détermination de cette adhérence ne peut être faite qu'expérimentalement. On verra plus loin que cette détermination est des plus importantes, la puissance vive des molettes intervenant d'une manière prépondérante dans la puissance vive totale des éléments constitutifs d'un appareil d'extraction (1).

---

(1) On trouvera dans un travail, actuellement sous presse, que nous publions dans la *Revue universelle des Mines*, sous le titre: *Étude théorique et expérimentale de la machine d'extraction*, une étude détaillée du mode de variation de cette puissance vive totale.

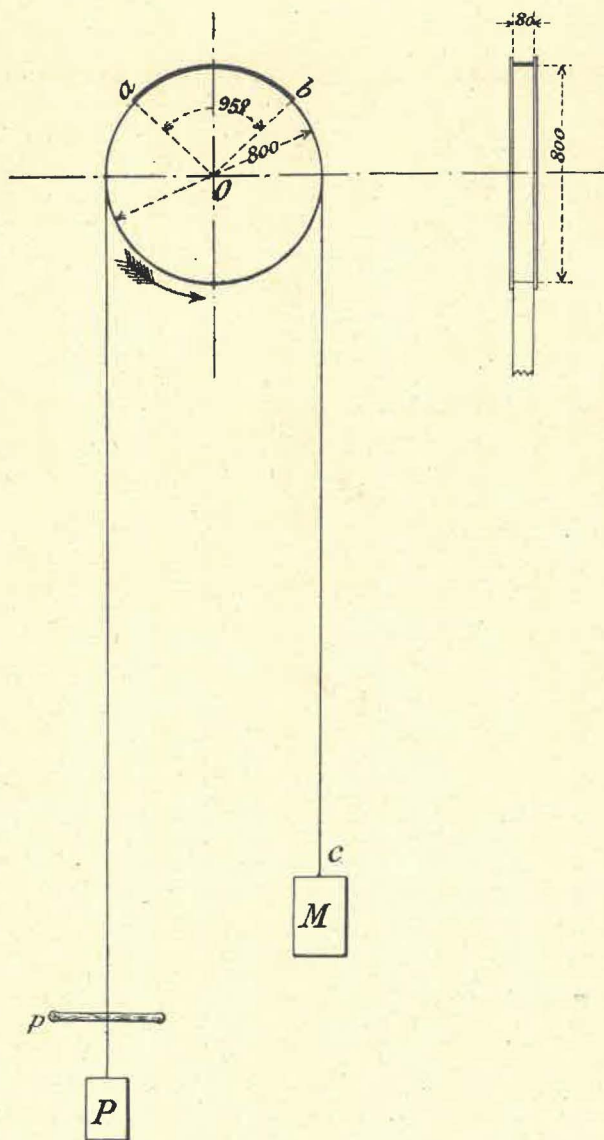


FIG. 1.

### Détermination de l'adhérence entre le câble et la molette.

L'appareil qui a servi à nos essais est un mouton d'estampage dont les éléments intéressants sont représentés figure 1.

La poulie tournant autour de l'axe  $o$  a un diamètre de 800 millimètres et est animée d'une vitesse de 60 tours par minute; une courroie  $ab$ , large de 80 millimètres et suiffée sur sa face interne, embrasse un arc de  $95^\circ$ .

Cette courroie est reliée d'une part à une poignée de commande  $p$  par l'intermédiaire d'une corde  $ap$  et d'autre part au mouton  $M$  à l'aide de  $bc$ .

A la poignée  $p$  nous avons attaché un poids  $P$  dont nous avons déterminé expérimentalement l'importance strictement nécessaire pour provoquer le déplacement vertical du mouton  $M$  par l'adhérence entre la molette et le brin de courroie  $ab$ .

L'ensemble  $apP$  pesait 2 kilog.  $550 = P_1$ .

Le mouton  $M$  et sa corde de suspension  $= 110$  kilog.  $= P_2$ .

Dans ces conditions, le mouton se soulevait avec une vitesse égale à la vitesse périphérique de la molette, ce qui revient à dire que dans les conditions expérimentales ci-dessus décrites un poids  $P_1$  était capable, grâce à l'adhérence de la courroie  $ab$ , de soulever le mouton  $M$  et de lui communiquer presque instantanément une vitesse de  $2^m50$  par seconde.

La traction sur la corde du mouton était donc au démarrage supérieure à  $P_2$ .

Cette expérience nous permet donc de dire avec sécurité que, pendant le mouvement, l'entraînement que nous carac-



térons par le rapport entre les tractions aux deux extrémités de la courroie est certainement supérieur à

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{110 \text{ k.}}{2.55} = 43$$

pour un arc embrassé de 95°.

Nous avons tiré de cette expérience la conclusion suivante :

*Dans un appareil d'extraction on peut considérer la cage comme intimement liée au mouvement de la molette pour autant que le rapport des tractions aux extrémités de l'arc embrassé par le câble soit supérieur à 43.*

. . .

Nous prendrons comme exemple l'appareil d'extraction du puits Cinq-Gustave des charbonnages du Hasard sur lequel l'évite-molette que nous décrirons plus loin a été appliqué.

Les caractéristiques de cette machine d'extraction sont les suivantes :

Machine à vapeur horizontale à deux cylindres jumeaux ;

Diamètre des pistons : 0<sup>m</sup>85 ;

Course : 1<sup>m</sup>20 ;

Extraction journalière : 500 tonnes ;

Profondeur de l'extraction : 600 mètres ;

Poids de la cage vide : 2500 kilogrammes ;

Poids de 20 ouvriers : 1400 kilogrammes ;

Poids des 4 wagonnets vides : 1200 kilogrammes ;

Diamètre des molettes : 5<sup>m</sup>15 ;

Poids d'une molette (sans axe) : 6000 kilogrammes ;

Hauteur de l'axe des molettes au-dessus de la recette du jour : 22<sup>m</sup>50 ;

Poids maximum du brin de câble en aloès qui pend dans le puits (longueur 600 mètres) : 7250 kilogrammes ;

Poids total d'un câble (longueur 700 mètres) : 9000 kilogrammes ;

Petit rayon d'enroulement  $r = 1^m20$  ;

Grand rayon d'enroulement  $R = 3^m00$  ;

Diamètre des poitrines en fonte :  $1^m50$ .

Les données qui précèdent étant connues, supposons que la cage montante dépasse les taquets de sûreté à la vitesse de 10 mètres par seconde ; dans ces conditions, déterminons la puissance vive totale de l'appareil d'extraction.

Pour ce faire, il faut décomposer cet appareil en éléments judicieusement choisis, déterminer la puissance vive de chacun d'eux à l'instant considéré et totaliser les résultats.

a) CAGE MONTANTE :

Poids avec 20 ouvriers : 3900 kilogrammes ;

Vitesse en mètres par seconde : 10 ;

Puissance vive  $\frac{mV^2}{2} = \frac{3900 \times \overline{10}^2}{2 \times 9.81} = 20000$  kilogrammètres.  
(chiffres ronds)

b) MOLETTE (côté de l'ascension) :

Poids : 6,000 kilogrammes ;

Diamètre au fond de la gorge :  $5^m15$ .

Dans le calcul de la puissance vive de ce volant, on peut, sans erreur sensible, négliger l'axe et le moyeu et considérer le poids réparti à la jante comme se mouvant à la vitesse du câble.

Dans le cas présent le poids que l'on peut supposer reporté à la jante est voisin de 5000 kilogrammes et la puissance vive totale de la molette :

$$\frac{5000 \times \overline{10}^2}{2g} = 25,500 \text{ kilogrammètres.}$$



c) BRIN DE CÂBLE DÉROULÉ (ascension) :

Poids : 500 kilogrammes environ (1);

Puissance vive.  $\frac{500 \times \overline{10}^2}{2g} = 2500$  kilogrammètres.

d) CÂBLE ENROULÉ SUR LA BOBINE (ascension) :

Diamètre de la poitrine :  $1^m50 = d$  ;

Diamètre maximum d'enroulement :  $6^m00 = D$ .

Pour déterminer le rayon de giration de cette masse de câble, nous supposerons sa largeur constante et dans ces conditions en appelant  $\rho$  le rayon cherché on a :

$$\rho = \sqrt{\frac{I_p}{S}}$$

Dans cette formule,  $I_p$  est le moment d'inertie polaire d'une section verticale S du câble enroulé :

$$I_p = \pi \frac{D^4 - d^4}{32}$$

$$S = \pi \frac{D^2 - d^2}{4}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{D^2 + d^2}{8}} = \sqrt{\frac{6.00^2 + 1.50^2}{8}} = 2^m18$$

Poids de la partie de câble enroulé : 8500 kilogrammes.

Vitesse à l'extrémité du rayon de giration :

$$\frac{10 \times 2^m18}{3} = 7^m30$$

Puissance vive  $\frac{mV^2}{2} = \frac{8500 \times \overline{7.3}^2}{2 \times 9.81} = 23000$  kilogrammètres

---

(1) C'est le poids du brin de câble qui ne s'enroule jamais.



e) ARBRE DE BOBINES, PLATEAUX MANIVELLES, BIELLES, CROSSSES, PISTONS, TIGE, ETC. :

Un calcul approximatif de la puissance vive totale de tous ces éléments donne au maximum 1500 kilogrammètres. En conséquence, dans un problème du genre de celui qui nous occupe, on peut, sans commettre d'erreur appréciable, négliger la puissance vive des organes de la machine à vapeur proprement dite; on introduit ainsi une notable simplification dans les calculs sans que cette dernière soit de nature à influencer sur les conclusions définitives de l'étude d'un évite-molette.

f) BRIN DE CÂBLE DESCENDANT :

Celui-ci étant compté depuis la bobine  $y$  relative jusqu'au fond du puits.

La vitesse de ce câble est donné par la formule

$$v = \frac{10^m \times r}{R} = \frac{10^m \times 1^m20}{3} = 4 \text{ mètres}$$

Son poids est de 8000 kilogrammes;

Sa puissance vive  $\frac{8000 \times \overline{4.00}^2}{2 \times 9.81} = 6500$  kilogrammètres.

g) PARTIE DU BRIN DE CÂBLE DESCENDANT QUI RESTE ENROULÉE SUR LA BOBINE :

Poids : 1000 kilogrammes ;

Rayon minimum d'enroulement : 1<sup>m</sup>20;

Rayon de la poitrine : 0<sup>m</sup>75 ;

Rayon de giration

$$\rho = \sqrt{\frac{2.40^2 + 1.50^2}{8}} = 1 \text{ mètre}$$

$$v = \frac{10 \times 1^m}{3} = 3^m33$$

$$\text{Puissance vive} \frac{1000 \times \overline{3,33^2}}{2 \times 9,81} = 560 \text{ kilogrammètres}$$

h) MOLETTE (descente) :

Vitesse à la jante : 4<sup>m</sup>00;

$$\text{Puissance vive} = \frac{5000 \times 4^2}{2 \times 9,81} = 4100 \text{ kilogrammètres}$$

i) CAGE DESCENDANTE :

Cette cage étant supposée chargée de 4 wagonnets vides et pesant 3700 kilogrammes, sa vitesse étant de 4 mètres par seconde ainsi que nous venons de le voir, sa puissance vive est de :

$$\frac{3700 \times \overline{4^2}}{2 \times 9,81} = 3000 \text{ kilogrammètres}$$

j) POULIE DE FREIN PLACÉE ENTRE LES BOBINES :

Rayon : 2<sup>m</sup>00;

Poids réparti à l'extrémité de ce rayon : 2500 kilogrammes;

$$\text{Vitesse} \quad \frac{10^m \times 2}{3} = 6^m66$$

$$\text{Puissance vive} \frac{2500 \times \overline{6,66^2}}{2 \times 9,81} = 5400 \text{ kilogrammètres.}$$



## k) BOBINES :

Les deux bobines sont constituées chacune par une poitrine et 16 bras; le grand diamètre de ces bobines atteint 6<sup>m</sup>20.

En décomposant ces bobines en éléments convenablement choisis et en procédant comme ci-dessus, on trouve que la puissance vive totale est de 15000 kilogrammètres.

## RÉSUMÉ

| Éléments participant à l'ascension. |       | Moteur et bobines.                  | Éléments participant à la descente. |                   |       |
|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------|
| Kilogrammètres                      |       | Kilogrammètres                      |                                     | Kilogrammètres    |       |
| Cage . . . . .                      | 20000 | Câble enroulé sur une bobine. . .   | 23000                               | Cage . . . . .    | 3000  |
| Molette . . . . .                   | 25000 | Câble enroulé sur l'autre bobine .  | 560                                 | Molette . . . . . | 4100  |
| Câble . . . . .                     | 2500  | Bobines et poulie de frein. . . . . | 20400                               | Câble . . . . .   | 6500  |
|                                     |       | Machine à vapeur                    | 1500                                |                   |       |
| Total. . . . .                      | 48000 | Total. . . . .                      | 45460                               | Total . . . . .   | 13600 |

Ce qui représente une puissance vive totale de 107060 kilogrammètres.

### Discussion des différents cas qui peuvent se présenter.

A. La cage se meut vers les molettes, elle a dépassé les taquets de sûreté et un crochet ou des couteaux ont sectionné le câble.

Cette cage va poursuivre son chemin sur une hauteur  $h$  due à sa vitesse donnée par l'égalité :

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

soit pour  $v = 10$  mètres

$$h = 5^m10.$$

ou pour  $v = 20$  mètres

$$h = 20^m40.$$

Dans les deux cas, elle retombera violemment sur les taquets de sûreté; ces derniers seront rompus ou, s'ils résistent, le choc résultant de l'arrêt brusque de la cage blessera grièvement les ouvriers qu'elle contient.

B. Dans les mêmes conditions que précédemment la cage vient se coïncier entre les guides que l'on a rapprochés. Supposons, pour fixer les idées, que ce coïncement se fasse d'une manière continue et efficace sur un mètre de course; pendant ce parcours les mains courantes supérieures de la cage qui sont engagées dans les guides tendent à se rapprocher sous la pression de ces derniers, compriment horizontalement le toit de la cage au voisinage duquel elles sont attachées et arrêtent la masse en mouvement ascensionnel par friction.

Soient  $PP$  (fig. 2) les réactions finales des guides, équi-



librées par la rigidité du toit de la cage ; nous pouvons sans erreur appréciable les supposer horizontales :

- $x$  = l'espace parcouru verticalement ;  
 $l$  = la course d'arrêt ;  
 $f$  = le coefficient du frottement ;  
 $Q$  = le poids en mouvement.

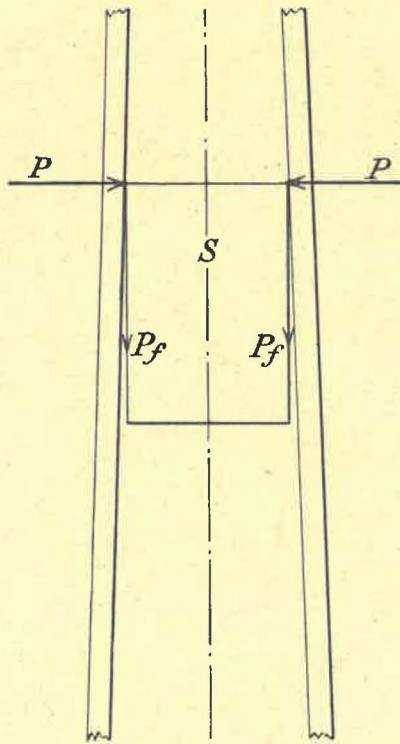


FIG. 2.

Posons :

- $l = 1^{\text{m}}00$  ;  
 $f = 0.25$  (fer sur fer) ;  
 $Q = 3900$  kilogrammes.

Il faut remarquer que les réactions PP sont variables; elles croissent uniformément et sont proportionnelles à l'espace parcouru.

Nous pouvons écrire :

$$P = cx,$$

$c$  étant une constante à déterminer.

Dans les conditions ci-dessus exposées on a :

$$\frac{Q}{g} \frac{d^2x}{dt^2} = -2cxf - Q.$$

$$\int_0^l 2 \frac{Q}{g} \frac{d^2x}{dt^2} dx = \int_0^l -4cfx dx - \int_0^l 2Q dx$$

$$2 \frac{Q}{g} \times V_0^2 = 4cf \frac{l^2}{2} + 2Ql$$

$$\frac{Q}{g} \frac{V_0^2}{2} = cfl^2 + Ql$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs on trouve :

$$20000 \text{ kgm.} = C \times 0.25 \text{ kgm.} + 3900 \text{ kgm.}$$

$$\text{D'où} \quad C = \frac{20000 - 3900}{0.25} = 64400.$$

La pression finale sur la cage deviendrait dans ces conditions :

$$c \times l = 64400 \text{ kilogrammes}$$

pour une course d'arrêt progressif égale à un mètre.



On voit que dans l'hypothèse où la cage se meut à la vitesse relativement faible de 10 mètres par seconde, elle serait inévitablement écrasée, car aucune cage n'est capable de résister à de telles compressions. A fortiori cette conclusion reste debout dans l'hypothèse d'une vitesse plus grande.

C. Examinons maintenant le cas où la cage reste attachée au câble et supposons que le machiniste ait appliqué le frein au moteur d'extraction ou encore-que cette application se soit faite automatiquement à l'aide d'un dispositif *ad hoc*.

Dès que la machine a ralenti, nous pouvons considérer le câble, la molette et la cage comme se mouvant ensemble sous l'influence de leur inertie.

Le brin de câble qui réunit la molette à la machine, d'un poids d'environ 300 kilogrammes, dans le cas qui nous occupe, est capable, ainsi que nous l'avons montré p. 698, de soulever quarante-trois fois son poids, grâce à l'adhérence entre le câble et la molette. L'expérience que nous avons rapportée est à ce sujet absolument convaincante.

*Cage, câble et molette se meuvent solidairement et le machiniste n'est plus maître de leur mouvement*, il ne peut qu'arrêter sa machine.

Dans l'hypothèse d'une vitesse de 10 mètres par seconde, cet ensemble, qui est animé d'une puissance vive de 48000 kilogrammètres<sup>(1)</sup>, continuera à se mouvoir, la pesanteur seule agissant comme force retardataire; la hauteur H à laquelle la cage s'arrêtera est donnée par l'égalité :

$$48000 \text{ kgm.} = 3900 \text{ kgm.} \times H^m.$$

$$\text{D'où} \quad H^m = 12^m300$$

---

(1) Voyez p. 703.

Je crois inutile d'insister plus longuement sur l'importance de ce phénomène; il montre combien est grand le danger de mise à molettes, même dans le cas d'une vitesse modérée — dix mètres par seconde — *et dans l'hypothèse extrêmement favorable où le machiniste reconnaissant son erreur aurait eu le temps d'arrêter complètement le moteur à vapeur.*

Il est absolument inutile de songer à arrêter la cage dans son mouvement ascensionnel en la coïncant entre les rails guides. Par application des formules indiquées au § B, on trouve, en effet, que l'écrasement final provoquant l'arrêt deviendrait théoriquement :

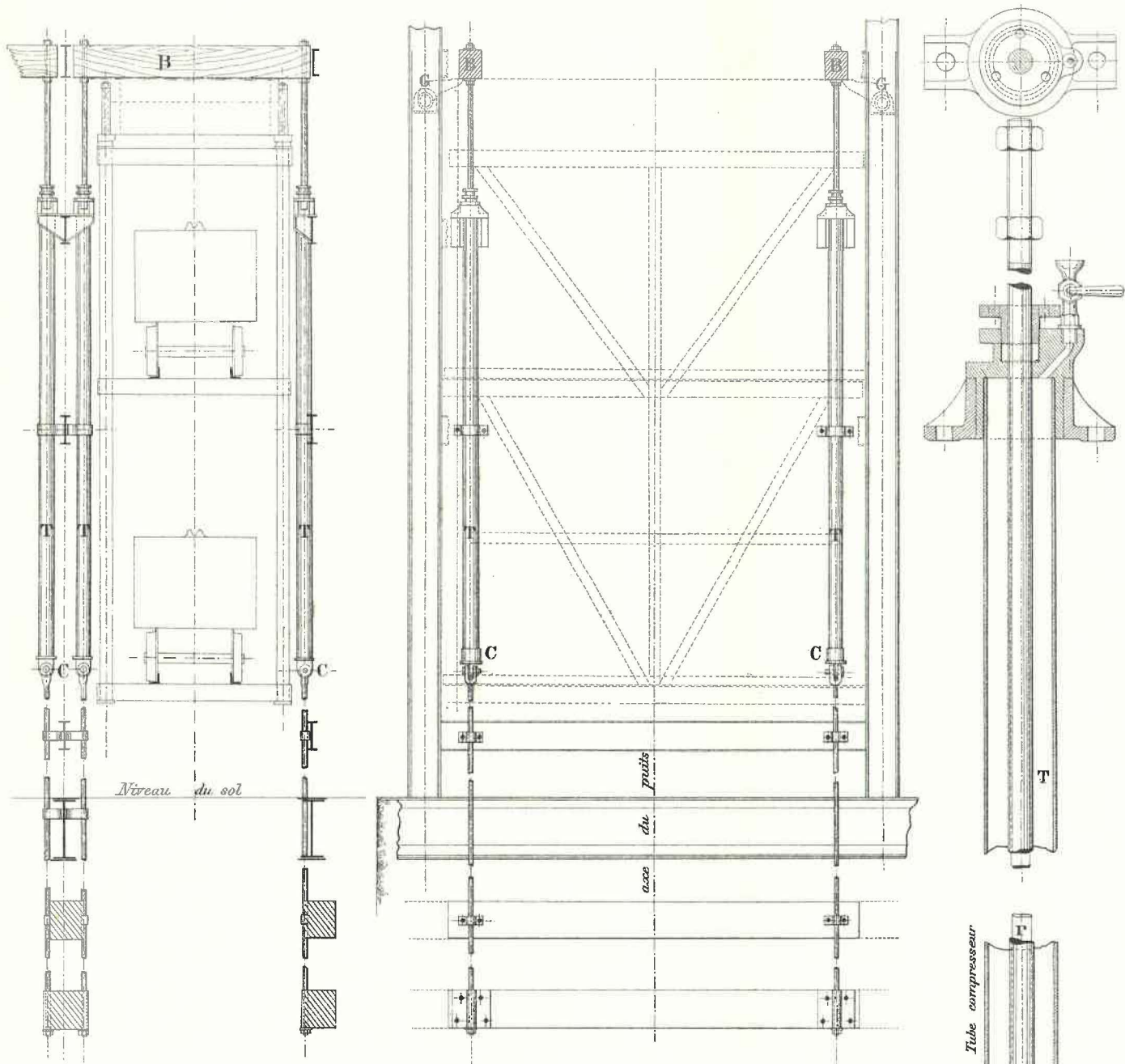
$$\frac{48000 - 3900}{0.25} = 176000 \text{ kilog. !}$$

En pratique, il se produirait le glissement du câble sur la molette et dans tous les cas l'écrasement de la cage. A défaut d'appareil d'arrêt et si le châssis est très haut, les molettes pourront ne pas être atteintes, mais le danger de la chute en retour d'une cage, d'une hauteur de 12<sup>m</sup>:30, n'en subsiste pas moins.

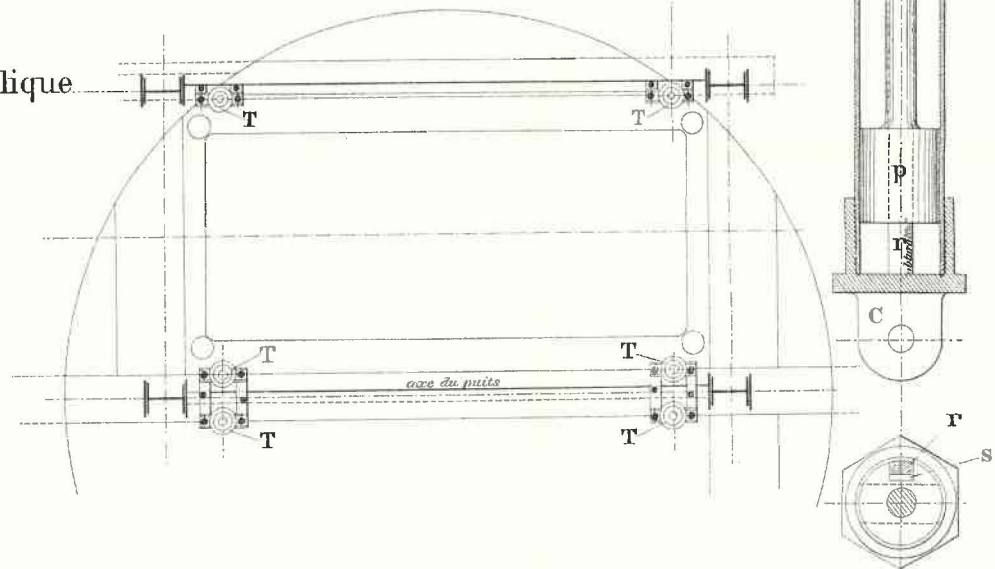
D. Dans le cas où le frein n'aurait pu être serré à temps, la vapeur eût-elle été coupée ou renversée au moment du passage aux taquets de sûreté, la puissance vive de 107060 kilogrammètres (voir p. 703) de toutes les masses en mouvement provoquera indiscutablement des accidents redoutables.

---





Evite-molettes hydraulique





## Considérations générales.

Il résulte des calculs qui précèdent que s'il est recommandable d'adapter à la machine à vapeur différents dispositifs ayant pour but de ralentir sa vitesse lorsque la cage a dépassé un point déterminé de son parcours ascensionnel, il paraît incontestablement *prudent* d'agir sur les masses participant à l'ascension (câble, molette et cage) qui dans certains cas peuvent cesser d'être sous la dépendance du mécanicien.

En matière d'appareils de sécurité on doit multiplier les dispositifs de sûreté, pour autant que leur complication ou l'entretien qu'ils nécessitent ne diminuent pas trop la probabilité de leur bon fonctionnement ou que leur disposition ne soit de nature à constituer éventuellement une cause de danger.

Ceci posé, nous croyons que la construction d'un évite-molette nécessite la solution des deux problèmes suivants :

1° Agir sur la machine dès qu'elle a dépassé une vitesse maximum donnée ou que la cage a atteint un point déterminé de sa course ;

2° Agir efficacement sur les masses en mouvement autres que celles de la machine dès que la cage dépasse les taquets de sûreté.

C'est à la solution du second problème que nous nous sommes attachés, *nous réservant de proposer dans un travail ultérieur une solution au premier.*

A cet effet, nous avons construit et installé l'appareil ci après décrit (v. planche) :

Dans les quatre coins de l'avant-carré de chaque compartiment d'extraction, nous avons logé des tubes TT identiques et qui sont alésés à un diamètre intérieur de 85 millimètres ; la matière qui les constitue est du fer étiré.

L'armature complète d'un de ces tubes comporte une tige  $A$  passant dans une boîte à bourrage en acier coulé et terminée à une extrémité par un piston  $p$  venu de forge avec elle ; cette dernière est fixée à l'aide de deux boulons à une traverse en bois  $B$  qui assemble deux tiges.

Sous les boîtes à bourrage, on remarquera des anneaux de support permettant de suspendre l'ensemble aux montants de l'avant-carré ; enfin, les tubes sont attachés par leur culasse  $C$  et des tringles en fer à des traverses fixées où l'on voudra dans la maçonnerie du puits.

Ce détail a son importance, car dans le cas de fonctionnement, *l'appareil ne tire sur aucun élément du châssis proprement dit.*

Pour compléter la description nous ferons remarquer que dans le piston  $p$  est ménagé un orifice  $s$  obturé progressivement à mesure que le piston monte dans son cylindre par une réglette  $rr$  qui ferme complètement l'orifice lorsque le piston est arrivé à la fin de sa course ascendante.

Les tubes sont complètement remplis d'un liquide quelconque : de l'eau glycérinée, de l'huile, de la graisse.

Ceci posé, voici le principe du fonctionnement de l'appareil. Dès que le toit de la cage vient à dépasser les taquets de sûreté  $GG$ , il vient s'appliquer sous les traverses en bois de l'évite-molette inférieurement recouvertes d'une corde de bure formant matelas amortisseur du choc.

La cage continuant son mouvement ascensionnel, soulève les traverses  $BB$  et les quatre pistons de l'évite-molette.

Ces derniers refoulent devant eux le liquide qui passe de leur face supérieure à leur face inférieure par l'orifice  $s$ .

Appelons :

$M$  la masse du câble déroulé et de la molette, au moment du contact de la cage et de l'appareil ;

$m$  étant la masse de la cage montante ;

$V$  la vitesse de la cage exprimée en centimètres ;



- $V_0$  la vitesse initiale ;  
 $V'$  la vitesse de l'eau franchissant l'orifice  $s$  ;  
 $s$  cet orifice en  $\text{cm}^2$  en un point quelconque du tube ;  
 $s_0$  id. à l'origine du mouvement ;  
 $S$  la section du piston.

Le problème diffère peu de celui que nous avons étudié pour la construction d'un parachute à arrêt progressif (1). Par le même procédé nous étudions ci-après les dimensions à donner à l'évite-molette décrit, de manière qu'il fonctionne dans les meilleures conditions, lors d'un cas moyen.

Dans l'espèce nous examinons l'éventualité suivante :

La cage dépasse les taquets de sûreté à la vitesse de 10 mètres par seconde, le mécanicien a ralenti la machine ; molette-cage et câble se meuvent solidairement, la puissance à absorber est de 48000 kilogrammètres, ainsi que nous venons de le voir.

Nous nous imposons la condition que dans ce dernier cas, le frein oppose au mouvement un effort retardateur constant qui arrêtera l'ensemble des masses lorsque les pistons de l'évite-molette seront arrivés à fond de course.

Cet appareil étant constitué par quatre dispositifs identiques et agissant simultanément, pour l'étude d'un d'entre eux nous porterons dans les équations

$$\frac{M}{4} \text{ et } \frac{m}{4}$$

pour la valeur des masses en mouvement.

La condition de constance de l'effort retardateur s'écrit :

$$V' = \frac{VS}{s} = \frac{V_0 S}{s_0} = \text{Const} \quad (1)$$

(1) Théorie des parachutes, *Revue Univ. des Mines*, août 1901.



Son importance est en kilogrammes :

$$\left( \frac{V_0^2 S^2}{s_0^2 2g} \times S \right) \frac{1}{1000} \quad (2)$$

On a donc :

$$\left( \frac{M + m}{4} \right) \frac{d^2x}{dt^2} = - \frac{mg}{4} - \frac{V_0^2 S^3}{s_0^2 \times 2g \times 1000} \quad (3)$$

ou encore en posant :

$$A = \frac{\frac{mg}{4} + \frac{V_0^2 S^3}{s_0^2 \times 2g \cdot 1000}}{\frac{M + m}{4}} \quad (4)$$

l'équation (3) devient :

$$\frac{dv}{dt} = - A$$

D'où l'on tire successivement :

$$\frac{dx}{dt} = V = V_0 - At \quad (5)$$

$$x = V_0 t - A \frac{t^2}{2} \quad (6)$$

En remplaçant  $t$  par sa valeur

$$\frac{V_0 - V}{A}$$

tirée de (5)

$$x = V_0 \left( \frac{V_0 - V}{A} \right) - \frac{A}{2} \left( \frac{V_0 - V}{A} \right)^2 \quad (7)$$

$$V = \sqrt{V_0^2 - 2Ax} \quad (8)$$

Or,  $A$  n'est pas connu, dans (4)  $S$  et  $s_0$  sont à déterminer.

Nous avons fixé à  $S$  une valeur de  $50 \text{ cm}^2$  utiles pour des raisons de construction et d'encombrement minimum.

$s_0$  sera obtenu par la condition qu'à la fin de la course on ait  $V = 0$ ; dans ce cas, l'équation (8) donne :

$$V_0^2 = 2Al$$

et 
$$A = \frac{V_0^2}{2l}$$

puis 
$$\frac{V_0^2}{2l} = \frac{\frac{mg}{4} + \frac{V_0^2 S^3}{s_0^3 2g 1000}}{\frac{M+m}{4}}$$

d'où l'on peut tirer  $s_0$  en remplaçant tous les termes connus par leur valeur et en observant que les unités sont le kilogramme et le centimètre.

$$s_0^2 = \frac{V_0^2 S^3}{\left( \frac{V_0^2}{2l} \left( \frac{M+m}{4} \right) - \frac{mg}{4} \right) 2g \times 1000} \quad (9)$$

D'après les conditions du problème (1), les différents termes de cette égalité ont pour valeurs :

$$V_0^2 = 1000000$$

$$S^3 = 125000$$

$$2l = 600$$

(1) Les unités sont le kilogramme et le centimètre.

$$\frac{M + m}{4} = 2.393$$

$$\frac{mg}{4} = 975$$

$$g = 981$$

On trouve enfin :

$$s_0 = 4^{\text{cm}^2},6 \text{ (en chiffres ronds)}$$

pour la section de l'orifice à ménager dans le piston S au démarrage; cet orifice doit varier de

$$s_0 = 4^{\text{cm}^2}6 \text{ à } s_0 = 0.$$

On trouve la loi de variation comme il suit :

La combinaison des égalités (8) et (9) donne :

$$V = V_0 \sqrt{1 - \frac{\omega}{l}}$$

puis en tenant compte de (1)

$$s = s_0 \sqrt{1 - \frac{\omega}{l}}$$

loi parabolique.

En pratique nous avons adopté une ligne droite comme profil de l'obturateur.

*Vérification* : Un procédé très simple pour la vérification des calculs qui précèdent, procédé qui nous donne immédiatement  $s_0$ , est le suivant :

On a vu que 48000 kilogrammètres étaient à amortir, et l'on sait que le travail de la pesanteur pendant l'action de l'appareil est égal à  $mgL$ , produit représentant 11700 kilogrammètres.



Le travail retardateur à faire hydrauliquement est en conséquence  $48000 - 11700 = 36300$  kilogrammètres.

Comme il y a quatre tubes, chacun doit amortir 9075 kilogrammètres sur une course de 3 mètres; l'effort sur le piston doit être alors

$$\frac{9075}{3} = 3025 \text{ kilogrammes}$$

et sa section S étant 50 centimètres carrés, la pression unitaire sera

$$\frac{3025}{50} = 60 \text{ kilog. par cm}^2 \text{ (chiffres ronds)}$$

Or, cette pression est donnée également par la formule :

$$H = \frac{V^2}{2g} \text{ et } V^2 = \frac{V_0 S}{s_0}$$

soit dans l'espèce :

$$H = \left\{ \frac{10 \times 50}{4.6} \right\}^2 \times \frac{1}{2g} = 600 \text{ mètres}$$

H étant exprimé en mètres d'eau, ce qui représente 60 kilogrammes par centimètre carré trouvé ci-dessus.

### Conclusions.

Les calculs qui précèdent prouvent indiscutablement qu'à la vitesse  $V_0 = 10$  mètres par seconde l'évite-molette hydraulique permettra l'arrêt sans choc de l'ensemble : cage, molette et câble participant à l'ascension.

A cette vitesse les quatre tringles en fer reliant les cylindres verticaux aux fondations résistent à une traction de

3,025 kilogrammes chacune; ces tringles ont 7 centimètres carrés de section et pourraient par conséquent, avant rupture, supporter une charge six à sept fois supérieure.

Il est à remarquer que la traction totale  $4 \times 4,025$  kilogrammes est partiellement supportée par le câble d'extraction qui tend à se séparer de la cage ou à glisser sur la molette, ce qui est favorable.

Ce glissement se produira dans des conditions que l'expérience rapportée page 5 permet de déterminer approximativement. Dans le cas qui nous occupe on peut également calculer qu'à partir d'une vitesse  $V_0 = 15$  mètres par seconde, le câble sera rompu entre la cage et la molette et l'appareil n'aura plus alors qu'à amortir la puissance vive de la cage seule et, après ce qui a été dit ci-dessus, nous jugeons superflu de démontrer qu'il en est largement capable.

Ajoutons encore que la vitesse à partir de laquelle les organes de l'évite-molette pourraient se rompre est notablement supérieure à 25 mètres par seconde.

A cette dernière vitesse en effet, les tringles travailleraient théoriquement à une charge voisine de la rupture si on ne tenait pas compte du travail élastique énorme qu'elles peuvent elles-mêmes supporter en raison de leur grande longueur et de l'élasticité du métal qui les constitue.

Nous croyons que l'appareil que nous proposons est de nature à augmenter la sécurité et nous espérons qu'on voudra bien lui reconnaître le mérite de la simplicité.

---