

# NOTES DIVERSES

---

## LE COEFFICIENT DE SÉCURITÉ

DES

## CABLES D'EXTRACTION <sup>(1)</sup>

PAR

M. LE PROFESSEUR FR. HERBST,

d'Aix-la-Chapelle (2)

---

Tandis que, dans tous les domaines de la technique minière, les installations et dispositifs modernes montrent de notables différences avec les installations et dispositifs antérieurs, tandis que, par exemple, l'exhaure, avec les pompes centrifuges, les procédés de foncement de puits, l'aérage, les lampes et les explosifs de sûreté, les haveuses mécaniques, ont été l'objet de perfectionnements auxquels ceux apportés dans les siècles précédents ne peuvent se comparer, seul le service de l'extraction, qui a vu cependant son importance croître de façon extraordinaire, repose encore essentiellement sur l'emploi de l'ancien treuil, avec seulement quelques changements dans la construction de la machine, exigés par les services bien plus considérables qu'on en attend.

L'extraction reste ainsi, avec sa marche irrégulière et heurtée, dans notre technique si intensément développée, comme un reste d'un passé oublié dans la plupart des autres domaines.

Il y eut, il est vrai, quelques efforts accomplis pour se libérer de l'encombrant intermédiaire du câble d'extraction (systèmes à crémaillère, pneumatique, hydraulique, etc.), mais il n'y a aucune chance que ces systèmes soient appliqués à l'avenir. Le procédé

---

(1) L'application de certains articles (art. 22, etc.) du règlement du 10 décembre 1910, relatifs à la translation par les câbles, donne un grand intérêt d'actualité à l'étude du distingué professeur d'Aix-la-Chapelle, parue récemment dans le *Glückauf* (n° 23 de 1912).

Nos lecteurs nous sauront gré de leur mettre sous les yeux, à titre de renseignements et sous toutes réserves, la traduction intégrale de cette intéressante étude.

(2) Traduction de G. W.

par chaîne à godets ne peut venir en considération pour les grandes profondeurs. Le procédé « en tandem », c'est-à-dire l'extraction par relais, diminue les difficultés inhérentes au câble, mais ne les supprime pas. Il faut donc encore toujours, pour les grandes profondeurs, compter avec l'insuffisance de « l'extraction par treuil perfectionné », c'est-à-dire avec les défauts du câble.

Les câbles, auxquels, anciennement, il n'était pas nécessaire d'attacher une importance spéciale, jouent maintenant, c'est unanimement reconnu, un rôle fort important. Leur importance relativement à celles des autres organes du service de l'extraction, a fortement augmenté et augmentera encore beaucoup plus au fur et à mesure de l'approfondissement des puits. C'est donc à juste titre que, dans toutes les études des conditions de l'extraction à grande profondeur, on attache une importance particulière à la question des câbles.

Nous nous proposons d'étudier à notre tour cette importante question, en nous plaçant au point de vue du coefficient de sécurité.

Dans la plupart des mines allemandes (nous laissons de côté les mines de lignite qui exploitent à des profondeurs très réduites), l'exploitation se fait encore, il est vrai, à des profondeurs variant entre 300 et 500 mètres. Cependant, il y a déjà un bon nombre d'exploitations à 500 mètres et au-delà; on a, dans quelques cas, presque atteint les 1000 mètres; dans d'autres (puits Westfalen, près de Ahlen), on les a même déjà dépassés.

Pour ce qui concerne la charge à remonter, qui constitue un point important à considérer au point de vue de la résistance du câble, il faut ne pas perdre de vue que la tendance n'est pas de la diminuer au fur et à mesure que la profondeur augmente, mais au contraire de l'augmenter, afin de compenser la diminution de production causée par la plus grande durée de la remonte. Il ne faut donc pas s'attendre à une diminution des charges. Certes, il serait possible de réaliser cette diminution par la substitution, aux cages, de bennes appropriées (extraction par *ships*), mais, précisément, dans le cas le plus fréquent d'extraction de charges pondéreuses de grandes profondeurs, c'est-à-dire dans l'extraction de la houille, il faudrait surmonter de nombreuses difficultés avant de pouvoir adopter ce système. Nous prendrons donc, pour base des observations qui vont suivre, le système ordinaire d'extraction par cages.

Par suite du travail plus grand qu'exige du câble l'augmentation de la profondeur et des charges transportées, on a, afin de conserver

le coefficient de sécurité exigé, considérablement augmenté le diamètre et le poids du câble. A la vérité, actuellement, dans le bassin de la Ruhr, pour les machines d'extraction à tambour, la proportion des câbles pesant plus de 10 kilogrammes par mètre n'est que 5.80 %, et celle des câbles pesant plus de 12 kilogrammes par mètre n'est que de 0.63 %, mais, pour les câbles Koepe travaillant à grande profondeur, ces proportions sont déjà respectivement 21.50 et 3.50 %. Dans le district de Breslau, 12.20 % des câbles pèsent plus de 10 kilogrammes par mètre et 5.40 % plus de 12 kilogrammes par mètre; enfin, dans le bassin de la Sarre, 11.60 % de tous les câbles pèsent plus de 10 kilogrammes par mètre.

Cette augmentation du poids des câbles a pour conséquence naturelle de rendre l'extraction non seulement plus difficile mais aussi plus dangereuse. Nous reviendrons sur ce point.

Le premier effet du poids du câble est immédiat et se traduit par l'augmentation des efforts statiques dans la machine d'extraction et le chassis à molettes. La conséquence en est un renforcement de ces installations dont, par suite, le coût devient plus élevé. De plus, il faut tenir compte de la nécessité d'augmenter le diamètre du tambour et des poulies d'entraînement (Koepe), ce qui entraîne une augmentation relativement plus grande du poids et du prix. Si, comme c'est de règle dans les exploitations à grande profondeur, on emploie le système du câble d'équilibre, il faut encore compter avec l'augmentation du poids de la cage et du parachute.

L'effet indirect de l'augmentation du poids du câble est également important au point de vue des forces dynamiques qui sont en jeu lors de l'extraction. Le poids du câble se fait ici sentir d'une façon fort sensible à la machine d'extraction suivant la construction, la commande et le maniement de celle-ci. Cette influence est particulièrement grande sur les tambours d'extraction, car leur largeur et aussi, par conséquent, leur poids, augmentent avec la profondeur du puits et l'importance corrélatrice du câble, dans une bien plus grande proportion que celle des poulies Koepe. Comme cependant, l'emploi des machines d'extraction à tambour se fait de plus en plus rare pour les puits à grande profondeur, il n'y a pas grande importance à attacher à ce point.

Il serait à la vérité possible de diminuer le poids en employant les câbles clos qui ne contiennent pas d'âme en chanvre; mais ces câbles présentent d'autres inconvénients qui en ont fait cesser l'emploi. Par contre, les câbles à âme de fil métallique dans les

torons ont donné de bons résultats, mais leur poids n'est guère inférieur à celui des câbles ordinaires.

Pour ce qui concerne la décroissance qui allège sensiblement les cages, on l'a pratiquée en grand et avec succès pour les câbles à fibres végétales avec machines d'extraction à bobines; mais, dans la situation actuelle de nos installations minières, il ne peut encore en être question pour nos mines allemandes; en effet, les câbles plats n'ont pas donné de bons résultats quand on les a fabriqués en acier et chez nous, avec les fortes charges qui sont habituelles, c'est cette matière seule qu'il est possible d'employer. Il en résulte que la décroissance ne pourrait s'appliquer qu'aux câbles ronds. *A priori*, elle soulève des objections tirées de l'impossibilité d'employer un câble décroissant avec un câble d'équilibre et des difficultés de réaliser l'équilibre des moments par la variation du rayon, moyen qui s'applique très facilement au câble plat décroissant. Le système n'a donc guère de chance de s'introduire, et ce d'autant moins qu'il a encore contre lui l'adoption de plus en plus générale des machines Koepe.

C'est pourquoi, en examinant le point de savoir dans quelle mesure on pourrait diminuer le poids des câbles par l'adoption d'un coefficient de sécurité moindre, nous ne tiendrons compte que des câbles ordinaires ronds en acier de section uniforme.

## I

La question de l'augmentation du diamètre des câbles avec celle de la profondeur a été déjà traitée plusieurs fois au cours de ces dernières années, par exemple par Baumann (1); on a signalé, à cette occasion, l'accroissement disproportionné du diamètre avec la profondeur.

Cette question est d'une telle importance que nous croyons devoir l'exposer brièvement encore une fois.

Désignons par  $S$  la section du câble en mètres carrés, par  $t$  la charge permise en kilogrammes par mètre carré, par  $Q$  la charge à extraire, en kilogrammes, par  $T$  la profondeur du puits, en mètres et par  $\gamma$  le poids d'un mètre cube de câble, en kilogrammes. Nous aurons, pour la section ayant à subir le plus grand effort, l'équation suivante :

$$S t = Q + \gamma S T$$

(1) *Glückauf*, 1910, p. 1523.

d'où nous avons pour la section du câble d'où résulte aussi son poids :

$$S = \frac{Q}{t - \gamma T}$$

De cette équation, simple mais inflexible, dépend en bonne partie l'avenir de nos câbles d'extraction. Elle mérite donc d'être examinée de près.

Dans le second membre, pour une charge déterminée, nous voyons d'abord que  $Q$  est constant. Le facteur  $\gamma$  est, dans la plupart des cas, à peu près constant, quoiqu'il varie quelque peu suivant la nature du fil métallique employé, la torsion des fils et les âmes de chanvre. Pour plus de simplicité, nous considérerons donc ce facteur comme invariable et nous lui attribuerons une valeur de 9,500 (cette valeur varie suivant les cas de 8,500 à 10,000).

Par contre, les quantités  $t$  et  $T$  sont variables.

Si nous désignons par  $p$  la résistance du fil à la rupture et par  $\varepsilon$  le coefficient de sécurité, nous avons  $t = \frac{p}{\varepsilon}$ ;  $t$  a donc une valeur qui croît au fur et à mesure que  $\varepsilon$  diminue.

L'équation prend d'une façon générale, la forme  $x = \frac{\text{constante}}{y}$  c'est-à-dire la forme de l'équation d'une hyperbole équilatère rapportée à ses asymptotes. Il s'en suit que le diamètre du câble ne croît pas proportionnellement à la profondeur, mais croît beaucoup plus vite à partir d'une certaine limite. Cela tient à ce que, lorsque la longueur du câble augmente, la charge à supporter croît non seulement à cause de cette plus grande longueur, mais aussi parce que le poids du câble par mètre doit aussi être plus considérable. Il faut encore remarquer que  $y$  n'est pas une valeur absolue mais une différence et que donc (si on donne d'abord à  $t$  une valeur définie)  $y = t - y_1$ . Or cette valeur varie dans une forte mesure suivant que  $y_1$  se rapproche de zéro ou, au contraire, de la valeur de  $t$ . Dans le premier cas, les fluctuations de  $y_1$  n'influent que faiblement sur  $y$ ; par contre, dans le second cas, une variation même minime de  $y_1$  exerce déjà sur  $y$  une influence bien plus que proportionnelle. Si, par exemple,  $y_1 = 0.98 t$ ,  $y = 0.02 t$ ; si maintenant on augmente  $y_1$  ne fût-ce que de 1 %, de façon à lui donner la valeur de  $0.99 t$ , on aura  $y = 0.01 t$ ; la valeur de  $y$  se trouvera ainsi réduite de 50 %. Or, cette dernière loi de dépendance est ici prépondérante, l'expression  $\gamma T$

se rapprochant de plus en plus de  $l$  lorsque T augmente. Ainsi résulte, d'une manière générale, de la forme hyperbolique de l'équation et, dans les cas particuliers, de la grandeur de la différence constituant le dénominateur, une notable accentuation de la variation de S en fonction de T lorsque T augmente.

Si, par exemple, on prend un câble de 150 kilogrammes par millimètre carré et un coefficient de sécurité de 10, on a :  $l = 15,000,000$ . Si  $Q = 10,000$  et  $T = 300$  on a :

$$S = \frac{10,000}{15,000,000 - 2,850,000} = 0.000,823 \text{ m}^2 = 823 \text{ mill. carrés.}$$

Si on donne à T une valeur de 10 % plus grande, c'est-à-dire 330 mètres, on a l'équation :

$$S = \frac{10,000}{15,000,000 - 3,135,000} = 0.000,843 \text{ m}^2 = 843 \text{ mill. carrés.}$$

c'est-à-dire une augmentation de la section du câble de

$$\frac{20 \times 100}{823} = 2.43 \%$$

Par contre pour  $T = 1,200$ , on a :

$$S = \frac{10,000}{15,000,000 - 11,400,000} = 0.00278 \text{ m}^2 = 2,780 \text{ mill. carrés.}$$

et si on augmente T également de 10 %, on obtient l'équation :

$$S = \frac{10,000}{15,000,000 - 12,550,000} = 0.004,080 \text{ m}^2 = 4,080 \text{ mill. carr.}$$

c'est-à-dire une augmentation du diamètre du câble de

$$\frac{1,300 \times 100}{2,780} = 46.80 \%$$

On obtient des résultats semblables lorsque, T restant constant, on diminue la valeur de  $l$ , c'est-à-dire lorsque, en gardant la même résistance à la rupture, on augmente le coefficient de sécurité.

La grande importance de ces résultats justifie bien ces calculs, qui, au premier abord, paraissent un peu trop longs.

Comme la profondeur échappe à notre action, il ne nous reste, pour restreindre le poids du câble, la charge de rupture restant la même, qu'à porter la réduction sur le terme  $\varepsilon$ , c'est-à-dire le coefficient de sécurité.

Le tableau suivant montre quelle importance ce coefficient de sécurité a pour les grandes profondeurs et comment, à partir d'un certain point, il augmente dans une proportion bien plus forte que la profondeur.

Dans ce tableau, la section du câble a été déterminée par une charge de cage de 10,000 kilogrammes suivant les différentes profondeurs et les divers coefficients de sécurité.

Calcul de S pour différentes valeur de T, p et  $\varepsilon$ .

	T = 600 mètres	800 mètres	1,000 mètres	1,200 mètres	1,400 mètres	
I. — p = 150						
S (en millimètres carrés)	pour $\varepsilon =$					
	3	226	236	247	260	272
	4	315	335	357	384	413
	5	412	446	488	538	599
	6	518	575	645	735	855
	8	767	897	1,081	1,360	1,836
	10	1,075	1,353	1,820	2,780	5,880
II. — p = 160						
S (en millimètres carrés)	pour $\varepsilon =$					
	3	210	219	228	239	250
	4	292	309	328	350	375
	5	380	410	445	486	535
	6	477	524	582	653	746
	8	698	806	952	1,164	1,495
	10	970	1,190	1,540	2,175	3,710
III. — p = 180						
S (en millimètres carrés)	pour $\varepsilon =$					
	3	184	191	198	206	215
	4	255	268	282	298	316
	5	330	352	378	406	441
	6	412	447	488	538	600
	8	595	672	768	900	1,085
	10	813	962	1,180	1,520	2,125

Les trois diagrammes (fig. 1 à 3) permettent de se rendre compte des résultats. On y voit, figurée d'une façon frappante, l'augmenta-

tion extraordinairement rapide de la section du câble lorsqu'on augmente la profondeur, si l'on adopte un coefficient de sécurité élevé, en opposition avec la faible augmentation de cette section lorsque les coefficients de sécurité sont réduits.

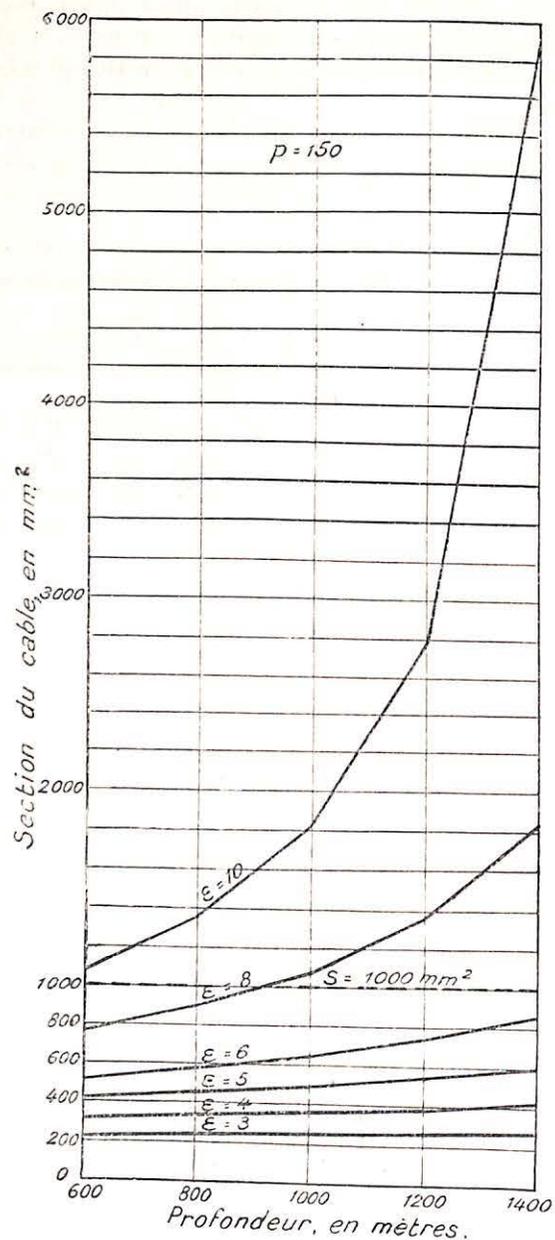


Diagramme n° 1, montrant l'augmentation de la section du câble, lorsque la profondeur augmente, pour différents coefficients de sécurité, avec  $p = 150$

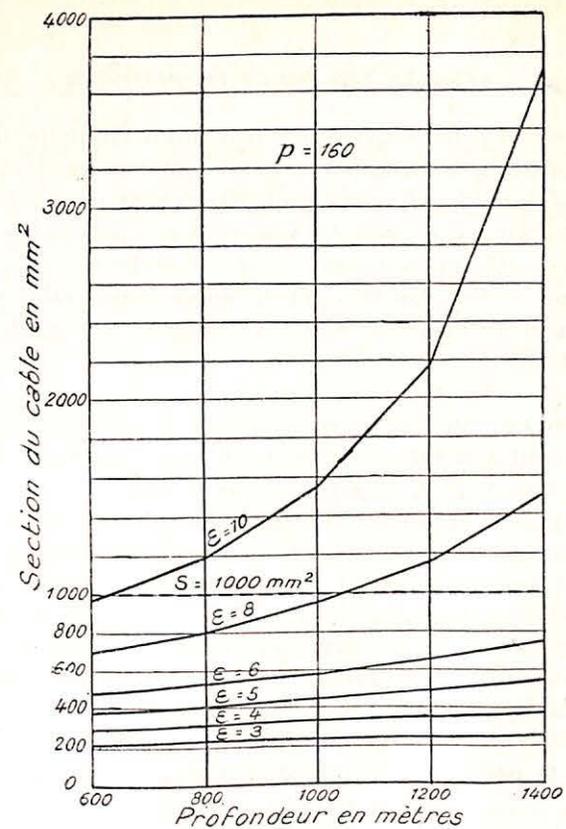


Diagramme n° 2. — Même signification que le n° 1, avec  $p = 160$ .

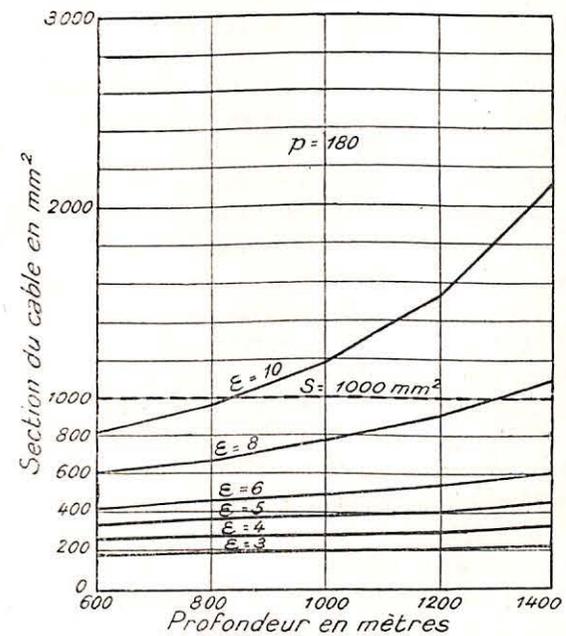


Diagramme n° 3. — Même signification que les nos 1 et 2, avec  $p = 180$ .

Pour obtenir le poids du câble, il faut encore multiplier la section par la profondeur de sorte que, pour ce qui concerne les poids, les différences entre les diverses profondeurs sont encore bien plus fortes. C'est ainsi, par exemple, que pour un coefficient de sécurité de 8, et  $p = 160$ , un câble aura, pour une profondeur de 1,400 m., une section = 2.14 fois plus grande qu'un même câble pour une profondeur de 600 mètres. Mais pour les poids, la proportion est de  $2.14 \times 1,400$

$$= 5.$$

Le terme  $\epsilon$  est un rapport par quotient, c'est-à-dire un nombre par lequel on multiplie l'effort maximum qu'ait à supporter le câble. De cette façon de calculer, il est résulté que la charge de rupture s'accroissant avec la profondeur des puits, la résistance totale effective s'est accrue encore plus fortement. Si, par exemple, on compare un ancien câble d'une résistance à la rupture de 16,000 kilogrammes avec un câble moderne d'une résistance à la rupture de 160,000 kilogrammes, on a, avec un coefficient de sécurité de 8, une charge permise de 2,000 kilogrammes pour le premier, de 20,000 kilog. pour le second. La puissance supplémentaire restant disponible pour les cas d'effort extraordinaire est ainsi

dans le premier cas de  $16,000 - 2,000 = 14,000$  kilog.

et dans le second cas, de  $160,000 - 20,000 = 140,000$  kilog., donc 10 fois plus grande.

Par conséquent, il est possible d'avoir, avec un même coefficient de sécurité pour les deux câbles, une marge de résistance pour les cas extrêmes bien plus grande avec le second câble qu'avec le premier; de sorte qu'il paraît logique de permettre pour le second câble un coefficient plus réduit ou de remplacer le coefficient de sécurité par une autre sécurité.

Le diagramme n° 4 montre spécialement l'augmentation extraordinaire du surplus de résistance disponible dans le câble pour les efforts anormaux, en fonctions de charges normales croissantes et pour divers coefficients de sécurité; il montre aussi que, la charge de la cage et du câble lui-même augmentant, il reste encore, avec un coefficient de sécurité de 4, un surplus très sensible de résistance. Par exemple: pour un câble devant soutenir une charge totale de 10,000 kilogrammes avec un coefficient de sécurité de 8, ce surplus est de 70,000 kilogrammes; pour un câble ayant une charge totale de 25,000 kilogrammes, avec un coefficient de sécurité de 4, ce surplus est de 75,000 kilogrammes.

C'est ce qui a fait dire à certains membres de la commission transvaalienne des câbles de 1906 qu'il faudrait remplacer le coefficient de sécurité par une sécurité « additive » déterminée, c'est-à-dire un excès de force, une marge.

La commission anglaise s'est aussi complètement rangée à cet avis. Le diagramme 5 montre la relation entre le coefficient de sécurité

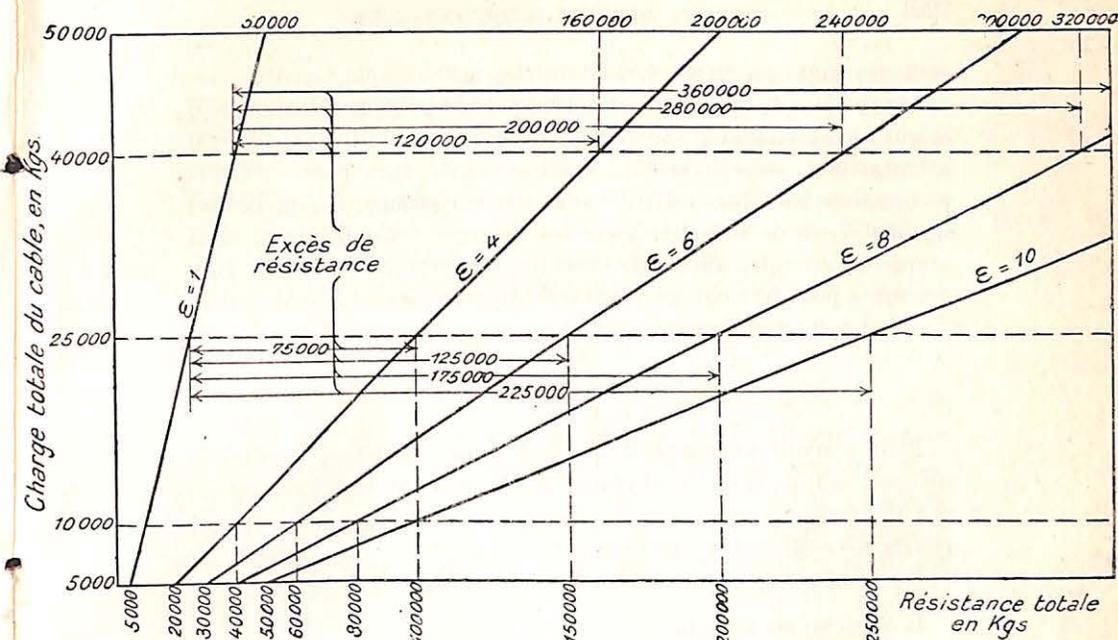


Diagramme n° 4, montrant l'augmentation de l'excès de résistance des câbles pour différents coefficients lorsque la charge normale augmente.

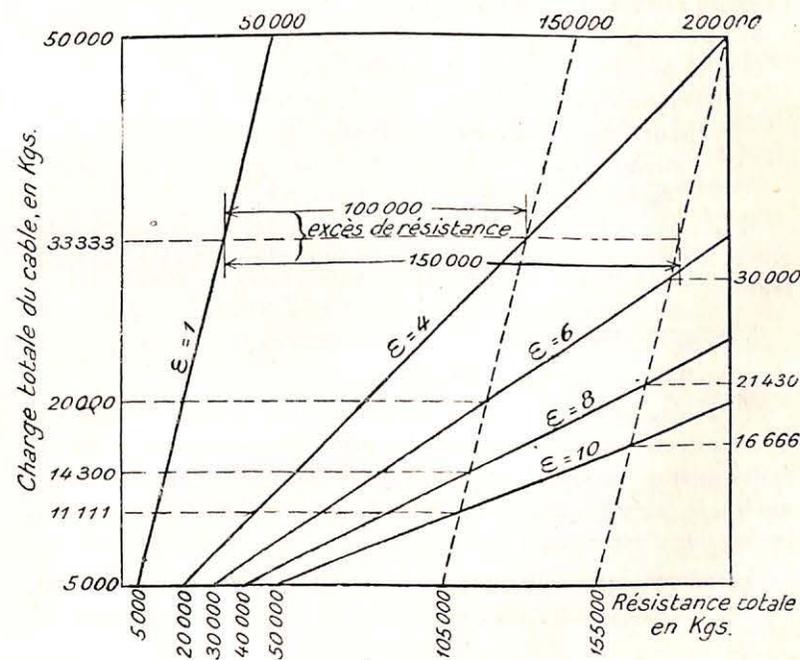


Diagramme n° 5 montrant quels coefficients de sécurité sont nécessaires, suivant les charges d'extraction, pour avoir des excès de résistance de 100,000 ou 150,000 kilog.

et le surplus de force. Les parallèles menées à la ligne correspondant à  $\varepsilon = 1$ , à 105,000 et à 155,000 kilogrammes de l'origine, et qui correspondent à une marge de sécurité de 100,000 et 150,000 kilogrammes respectivement, montrent par leurs points d'intersection avec les lignes relatives aux divers coefficients, quels sont les coefficients de sécurité, pour les diverses charges, quand cette marge est atteinte. Ainsi, par exemple, une marge de 100,000 kilogrammes pour une charge de 20,000 kilogrammes est atteinte quand  $\varepsilon = 6$  et pour une charge de 33,333 kilogrammes quand  $\varepsilon = 4$ , etc.

## II

Pour pouvoir examiner la question d'une réduction éventuelle du coefficient de sécurité, il faut se rendre compte des changements et faits imprévus survenant au cours de l'extraction qui peuvent rendre nécessaire la marge de sécurité en question.

Il se produit des surtensions soit statiques, soit dynamiques.

### 1. Surtensions statiques :

a) Par suite de la mauvaise fabrication du câble ou de la mauvaise qualité des matériaux employés à cette fabrication, la sécurité calculée du câble n'est qu'apparente.

b) La charge normale du câble est dépassée.

c) Détérioration progressive du câble par :

α) Actions chimiques : sels, rouille, acides ;

β) Influences mécaniques : diminution de la flexibilité, changements dans la structure survenant par suite du travail à fournir par les fils composant le câble.

d) Câble en mauvais état, présentant un degré insuffisant de sécurité et se trouvant encore en usage par suite d'un défaut de surveillance.

### 2. Efforts dynamiques :

a) Par les forces d'accélération à la remonte.

b) Par l'anéantissement subit de grandes forces vives, les cages se heurtant entre elles ou heurtant les parois du puits, les guides, les évite-molettes ou encore retombant après avoir été serrées entre les guides, le câble d'équilibre retombant par suite d'un freinage subit, ou le câble d'extraction sautant du tambour ou des molettes, etc.

Ces efforts extraordinaires augmentent-ils avec l'effort normal,

dans une mesure telle que pour y faire face le câble doit posséder l'énorme marge de force dont nous avons parlé ?

1. a). Ici, la réponse doit être négative. En effet, lorsque, par exemple, par suite de mauvaise fabrication ou de mauvaise qualité des matériaux employés, la résistance du câble se trouve réduite des  $\frac{2}{3}$ , cela donne, avec un coefficient de sécurité de 8 pour la charge normale  $Q$ , une marge de résistance de  $\frac{Q \times 8 \times 2}{3} - Q = Q \left( \frac{16}{3} - 1 \right)$

pour une charge normale  $10Q$ , on a :  $10Q \left( \frac{16}{3} - 1 \right)$ , c'est-à-dire 10 fois plus. Il en résulte que, s'il est vrai que dans le second cas la résistance absolue du câble diminue plus fortement que dans le premier, comme la marge de résistance a augmenté dans une proportion beaucoup plus forte que celle de cette diminution, on a à sa disposition une marge plus forte et ainsi la sécurité effective du second câble est plus grande que celle du premier. Dans les deux cas, il y a simple déplacement de la zone de sécurité du coefficient 8 au coefficient  $\frac{16}{3}$ .

Il faut encore ajouter à l'actif des plus gros câbles que pour eux, ces défauts, à cause du plus grand nombre de fils les composant, ont proportionnellement moins d'importance que pour les câbles plus minces.

1. b). Il n'arrive que rarement que la charge maximum prise comme base du calcul des câbles soit dépassée. Cependant, lorsque cela arrive, le cas a la même gravité que celui de 1 a). Le danger, en effet, lorsque la profondeur augmente, croît proportionnellement à la charge normale, tandis que la marge de résistance croît dans une proportion bien plus forte; de sorte que, même lorsque la sécurité est diminuée, il reste encore une marge suffisante pour parer au danger de cette charge anormale. Par exemple, pour une charge totale de 10,000 kilogrammes et un coefficient de sécurité de 8, une augmentation de charge de 20 %, donc de 2,000 kilogrammes, réduit le coefficient de sécurité à  $\frac{80,000}{12,000} = 6,666$  et cette proportion existe encore même lorsque la charge normale est doublée.

1. c). Ici aussi, ce que nous venons de dire s'applique; les influences défavorables réduisent dans une certaine proportion la résistance du câble et cette diminution peut être couverte par la marge de résistance, qui suffit encore pour des tensions normales plus grandes, même dans le cas de sécurité réduite. Cela est égale-

ment vrai pour les parties du câble les plus fatiguées (à la patte et à la partie enroulée sur la molette au démarrage), de l'état desquelles dépend la résistance du câble entier, car la marge nécessaire ne change pas, pour une charge normale plus forte, si le rapport de la diminution de résistance de ces parties à la diminution de résistance du câble entier reste constant.

Cependant, ici, les circonstances sont autres que pour  $a$  et  $b$ , en ce sens que des câbles plus forts (donc plus gros, à égalité de résistance à la rupture) souffrent plus que des câbles plus faibles. En effet, la rouille et les autres influences chimiques pénètrent jusqu'à l'âme, même des plus gros câbles, attendu qu'il est plus difficile de graisser efficacement l'intérieur de ces gros câbles que celui des câbles plus minces; de plus, dans les gros câbles, la fatigue due à la flexion est plus considérable que dans les câbles minces, l'effort de tension n'est pas réparti d'une façon aussi uniforme entre les divers fils, de sorte qu'on obtient plus facilement la surtension de certains fils en particulier. On devra donc exiger pour les gros câbles une augmentation correspondante de la marge de résistance, augmentation qui pourra cependant s'accompagner d'une diminution du coefficient de sécurité.

Il est clair qu'il y a ici deux influences qui se contrecarrent mutuellement. Les gros câbles justifient, en effet, un plus fort excédent de résistance, donc aussi un coefficient de sécurité plus élevé que les câbles minces. D'autre part, une diminution du coefficient de sécurité a pour résultat précisément une réduction du diamètre, de sorte que, manifestement, il y a, entre ces deux influences contraires, une section moyenne de câble combinant la sécurité la plus grande avec la moindre section.

Nous avons finalement à examiner ici la réduction du coefficient de sécurité, qui, d'abord, n'a été calculé qu'au point de vue de la résistance à la traction, au point de vue de la tension de flexion. Désignons, comme le fait Hrabak, par  $s$  la tension de traction, par  $\sigma$  la tension de flexion et conservons les notations déjà employées de

$p$  et  $\varepsilon$ ; nous aurons, pour une sécurité à la traction de  $\varepsilon = \frac{p}{s}$

une sécurité à la traction et à la flexion de  $\varepsilon_1 = \frac{p}{s + \sigma}$ .

Il est clair que, dans le dénominateur,  $\sigma$  a d'autant plus d'influence, comparé à  $s$ , que  $s$  est plus petit, c'est-à-dire plus on choisit  $p$  petit et  $\varepsilon$  grand. C'est ainsi que si on admet, par exemple, pour  $\sigma$  la valeur 10, les autres chiffres pour  $\varepsilon_1$  sont :

$\varepsilon$	$p = 140$		$p = 180$		de $p = 140$ à $p = 180$ $\varepsilon_1$ croit, en %, de
	$\varepsilon_1$		$\varepsilon_1$		
	Valeur absolue	en % de $\varepsilon$	Valeur absolue	en % de $\varepsilon$	
3	2.50	83.3	2.58	86	3.2
4	3.12	78.0	3.25	81.3	5.13
5	3.68	73.6	3.92	78.4	6.52
6	4.20	70.0	4.50	75.0	7.15
8	5.10	63.8	5.54	69.2	8.63
10	5.83	58.3	6.43	64.3	10.30

Il résulte aussi de la dernière ligne de ce tableau que lorsque  $\varepsilon$  augmente, c'est-à-dire lorsque  $s$  diminue, l'influence d'une augmentation de  $p$  est plus sensible. Baumann, lui aussi, insiste sur ce point. Cela s'explique par le fait que l'augmentation d'un numérateur ( $p$ ) doit avoir plus d'importance lorsque son dénominateur (dont ici  $s$  est le terme variable) diminue.

Quelle est l'importance de cette discussion au point de vue de la question qui nous occupe de la diminution du coefficient de sécurité pour de fortes charges normales?

En substance, cela signifie que, pour des câbles à faible sécurité, il y a, lorsque l'on fait entrer en ligne de compte la tension de flexion, une réduction notablement moins forte du coefficient de sécurité. Des câbles d'une résistance à la rupture de 180 kilogrammes au millimètre carré ont, avec un coefficient de sécurité de 4 à 5, une sécurité totale de 78 à 80 % de la sécurité de traction, tandis qu'avec des câbles à coefficients de sécurité de 8 à 10, cette sécurité totale n'est que de 65 à 70 %. On ne peut donc objecter aux câbles à sécurité plus faible que leur sécurité totale, déjà petite, est encore réduite proportionnellement par la tension de flexion.

D'un autre côté, lorsque  $p$  augmente, on ne remarque pas une notable augmentation de la sécurité totale, avec des sécurités de traction plus élevées parce que, précisément, avec les sécurités de traction élevées, la sécurité totale est généralement moindre.

Ajoutons encore que, d'après moi, la valeur du module d'élas-

ticité E, à introduire dans la formule de Reuleaux

$$\sigma = \frac{0.5 \times \delta \times E}{R}$$

augmente pour les gros câbles, c'est-à-dire, toutes conditions égales d'ailleurs, pour les coefficients de sécurité élevés. Il s'en suit qu'on ne peut pas admettre  $\sigma$  invariable dans toutes les conditions, car les gros câbles souffrent par la flexion certainement plus que les câbles minces. Si on tient compte de ce fait, on voit que la situation des câbles à haut coefficient de sécurité est encore plus défavorable.

De cet examen que nous venons de faire de la question de la tension de flexion, il ne résulte donc rien de défavorable à une diminution du coefficient de sécurité.

1. *d*). Le danger que certains endroits défectueux du câble ne soient pas, par suite de négligence dans l'inspection, reconnus à temps, est plus grand avec de gros câbles où le nombre de fils à inspecter est plus grand et où une plus grande partie d'entre eux échappent à la surveillance, qu'avec des câbles minces. Ici aussi, il faut conclure comme pour 1 *c* : Il faut exiger, pour les câbles fortement chargés, une valeur plus forte de la marge de résistance, ce qui n'est pas la même chose qu'exiger un coefficient de sécurité plus grand ni même égal. De même la remarque faite en 1 *c* a ici aussi sa valeur, que la diminution du coefficient de sécurité contribuerait à diminuer précisément les inconvénients des câbles à forte section.

2. Naturellement on sera enclin à considérer que les tensions dynamiques étant dans les conditions actuelles, notablement plus considérables qu'anciennement, c'est une raison amplement suffisante pour exiger, pour les plus grandes profondeurs, donc pour les plus gros câbles, une marge de résistance non seulement égale à celle qui est exigée pour des profondeurs moindres mais notablement plus grande et pour ne pas permettre une réduction du coefficient de sécurité.

Il faut cependant noter qu'on ne constatera pas une progression aussi forte, au point de vue de la vitesse et de la charge, en passant des profondeurs moyennes (500 à 600 mètres) aux grandes profondeurs (1.000 mètres et plus) qu'en passant des petites profondeurs, (200 à 300 mètres) aux profondeurs moyennes. Cela est surtout vrai pour les vitesses, qui jouent le rôle principal dans les efforts supplé-

mentaires instantanés, l'effort étant proportionnel au carré de la vitesse. Les objections élevées contre un nouvel accroissement de la vitesse maximum, déjà en partie si élevée actuellement, objections ayant pour base le danger d'accidents et de dérangements dans le service par suite de déraillements, de collision des cages entr'elles ou contre les pièces fixes, ont beaucoup de poids; en conséquence, il est probable qu'on cherchera plutôt à augmenter le rendement de l'extraction par une augmentation de la charge. De plus, on ne peut considérer qu'il est de la mission des câbles de résister dans toutes les circonstances, aux efforts extraordinaires survenant à la suite de l'anéantissement de la force vive causé par les accidents en question. On devra bien plutôt dire que le danger que courent les hommes contenus dans la cage et les autres dommages causés par des accidents de cette nature font apparaître le bris du câble comme un mal de moindre importance et on ne pourra persister à vouloir, en imposant au câble un coefficient de sécurité plus élevé, lui incorporer une telle réserve de force qu'il soit à même, dans tous les cas, de répondre à ces exigences exceptionnelles.

On devra donc dire que l'accroissement de la vitesse maximum, quelle que soit la mesure dans laquelle, en soi, l'effort maximum possible demandé au câble puisse s'accroître, ne peut être une raison pour prescrire pour les grandes profondeurs le même coefficient de sécurité que pour les petites, en d'autres termes, pour faire incorporer au câble une marge de résistance proportionnellement plus grande.

En parlant de la vitesse, il nous faut attirer particulièrement l'attention sur le cas de l'accélération à la remonte (2 *a*). Le danger, ici, n'est pas négligeable : la statistique relate divers cas de bris de câble lors du démarrage. Il faut cependant remarquer que ce danger n'augmentera pas en proportion de la profondeur. Au contraire, pour l'extraction à grande profondeur, l'accélération a moins d'importance, car ici la part de la ligne avec vitesse maximum, dans le diagramme de la vitesse, est notablement plus grande et par conséquent les lignes d'accélération et de ralentissement au commencement et à la fin du trajet importent moins. De plus, pour les grandes profondeurs, on préfère la poulie d'entraînement (Koepe), qui, à cause du danger de glissement, ne permet pas de dépasser une accélération déterminée.

Quant à l'autre conséquence fort probable des grandes profondeurs, l'augmentation de la charge, disons, concernant son importance dynamique, ce qui suit :

Si, par suite d'effets dynamiques, un câble a à supporter un choc qui absorbe jusqu'à la limite sa résistance totale à la rupture et si un choc semblable s'exerce, à la même vitesse, sur un câble travaillant à plus forte charge, ce dernier câble se trouve vis à vis du premier dans le même rapport que les charges statiques. En effet, les lignes pour  $\varepsilon = 1$ ,  $\varepsilon = 4$ , etc., dans la figure 4, convergent toutes vers l'origine; c'est pourquoi tous les segments interceptés par elles sur des lignes horizontales quelconques sont tous dans la même proportion. Si, par exemple, la charge totale du premier câble (ligne horizontale pointillée inférieure) est de 10.000 kilog. et celle du second câble (ligne horizontale moyenne) 25.000 kilog., la marge de résistance du second câble est dans la même proportion de 25.000 à 10.000, c'est-à-dire que, à sécurité égale, pour amener le second câble à la limite de sa résistance, il faut un choc d'intensité proportionnelle à la charge totale, ou bien, en d'autres termes, une réduction du coefficient de sécurité pour ce câble aura pour conséquence que le choc en question causera une rupture du câble. Cela semble être un argument contre l'autorisation de réduire le coefficient de sécurité, mais il faut noter que dans le second cas, le choc lui-même serait beaucoup plus violent que dans le premier. Avec, par exemple, un coefficient de sécurité de 7, le premier choc équivaldrait en tout à 70.000 kilogrammes et le second à 175.000 kilogrammes. Mais alors, ce que nous avons dit plus haut se vérifierait de nouveau : les effets d'un choc de cette nature seraient tellement destructifs qu'une rupture de câble n'empirerait guère la situation, et on ne peut demander à un câble de faire face à des exigences tellement extraordinaires.

La prise en considération de la tension de flexion dont, pour plus de simplicité, nous n'avons pas parlé, ne reculerait ce résultat que de peu.

Finalement, notons ce point sur lequel la Commission transvaalienne des câbles a déjà attiré l'attention, que, avec la longueur du câble, l'élasticité du câble lui-même augmente également et ainsi, en cas d'accident, les chocs sont amoindris. Cet amortissement des chocs n'est pas à dédaigner, car un léger retard à l'anéantissement par le choc des grandes forces vives a déjà grande importance.

Il ressort de ces considérations que ni l'examen des influences statiques, ni celui des influences dynamiques n'exige pour les grandes profondeurs une marge de résistance pour les câbles d'extraction aussi considérable que celle qui résulterait du maintien, pour les grandes profondeurs, des coefficients de sécurité actuels.

Cette assertion n'est pas infirmée par l'objection que la sécurité du câble doit être suffisante pour parer à toutes les éventualités, même dans le cas où toutes les influences défavorables possibles agiraient en même temps, car une action simultanée de ces influences est possible aux faibles profondeurs tout autant qu'aux grandes.

On pourrait encore, afin de renforcer l'assertion qu'une réduction du coefficient de sécurité est possible, attirer l'attention sur la diminution insignifiante du coefficient de sécurité dans beaucoup de câbles rebutés, ainsi que la statistique le constate. Mais, par contre, il ne faut pas perdre de vue, d'abord que la flexibilité diminue très fortement, sans que l'essai de traction l'indique, ensuite que les divers tronçons du câble voient se réduire leur coefficient de sécurité, d'une façon plus ou moins forte suivant les efforts auxquels ils sont soumis, et enfin que la sécurité d'un câble est celle de sa partie la plus faible dont le coefficient de sécurité peut être devenu notablement inférieur à celui du reste du câble. Il est notamment reconnu que la partie du câble dont la sécurité est la moindre, moindre encore que la partie au-dessus de l'attache (patte), considérée cependant souvent comme celle travaillant le plus, est la partie du câble qui repose sur la molette pendant le démarrage.

D'ailleurs, le tableau des valeurs de S donné plus haut et le diagramme n° 3 montrent clairement ce que Baumann remarque aussi à juste titre, c'est-à-dire le fait que l'emploi d'acier d'une résistance considérable à la rupture permet de réduire notablement le poids du câble, même sans réduire le coefficient de sécurité. Si, pour avoir une échelle de comparaison, on trace dans les figures 1 à 3, l'horizontale correspondant à une section de câble de 1.000 millimètres carrés, on trouve que cette ligne, lorsque  $p = 180$  et que le coefficient de sécurité est 8, n'est atteinte qu'à des profondeurs de plus de 1.200 mètres. Aussi, les expériences faites jusqu'à présent avec des câbles de 180 kilogrammes par millimètre carré de résistance à la traction ont été complètement encourageantes, quoique, d'après moi, les expériences acquises à ce jour ne justifient pas l'assertion de Baumann, qu'on peut déjà maintenant employer sans crainte des fils de 200 kilogrammes et plus.

D'autre part, il faut remarquer que pour dresser les tableaux et les diagrammes ci-dessus on a admis une charge Q de 10.000 kilogrammes et que, à mesure que Q augmente, suivant la formule donnée plus haut, la section S du câble augmente dans la même proportion; mais maintenant, dans beaucoup de cas, il faut déjà

compter avec des charges de 15,000 kilogrammes et plus, notamment pour la remonte de déblais, et si, dans la figure 6, on poursuit les lignes correspondant à un coefficient de sécurité 8 et à une charge de 15,000 kilogrammes, on reconnaît que la limite de 1.000 millimètres carrés est pour des câbles ayant  $p = 180$ , déjà dépassée à une profondeur de 800 mètres.

De telles charges deviendront dans l'avenir de plus en plus communes puisqu'on ne se décidera pas facilement à augmenter les vitesses. On doit même souhaiter, dans l'intérêt de la sécurité, que le rendement nécessaire de l'extraction à grande profondeur soit

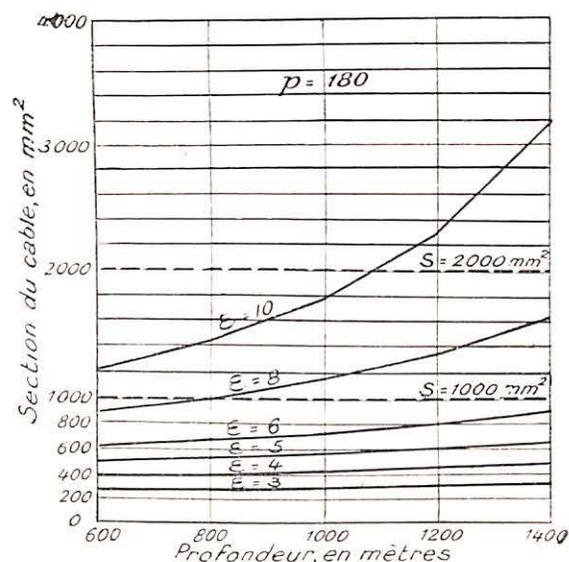


Diagramme n° 6, montrant l'augmentation de la section du câble lorsque l'on augmente les profondeurs et les coefficients de sécurité, pour  $p = 180$  et  $Q = 15,000$ .

atteint non par l'augmentation des vitesses, mais par celle de la charge (1).

Il semble donc désirable d'introduire, outre une augmentation de

(1) C'est précisément la diminution du poids du câble, résultant de l'abaissement du coefficient  $\varepsilon$ , qui permet une augmentation de la charge au lieu d'un relèvement correspondant de la vitesse. D'ailleurs la machine d'extraction travaille plus économiquement en augmentant la charge plutôt que la vitesse.

(Note additionnelle de l'auteur)

la résistance à la rupture des fils métalliques composant le câble, une diminution du coefficient de sécurité pour les grandes profondeurs. Naturellement ce point devient moins important à mesure que s'élève la résistance à la rupture, grâce aux progrès de la technique et, étant donnés les choses étonnantes déjà accomplies par l'homme dans ce domaine, il est difficile de qualifier d'utopique cette prédiction de Baumann que, plus tard, on pourra utiliser des câbles avec  $p = 240$  kilogrammes. Seulement, il y aura à faire, avec de tels matériaux, beaucoup d'expériences; le danger existe, en effet, de voir les propriétés de ce métal se transformer, au cours du service, d'une façon plus subite que celles des fils plus faibles, de sorte que la sécurité, au lieu de diminuer peu à peu, disparaîtrait subitement. D'autre part, les figures montrent que cette réduction de la sécurité n'a pas besoin d'aller bien loin. Pour  $Q = 10,000$  et  $p = 180$ , en permettant un coefficient de sécurité final  $\varepsilon$  de 5, ce qui, pour un câble neuf, correspondrait à  $\varepsilon = 7$  à 7.5, on tomberait déjà dans le domaine des lignes pour lesquelles, les différences de sections aux diverses profondeurs n'ont plus que peu d'importance. Pour  $Q = 15,000$ , ces différences s'accroîtraient, il est vrai, de nouveau, mais aussi les marges de résistance (voir fig. 4) existant à sécurité égale croîtraient de telle façon que l'on pourrait réduire la valeur de  $\varepsilon$  jusque 4 ou 4 1/2.

### III

Afin d'examiner la question du coefficient de sécurité dans sa corrélation avec les autres domaines de la technique, remarquons qu'on a déjà maintes fois consenti une réduction de sécurité analogue à celle que nous proposons ici. C'est ainsi que, par exemple, lorsque les premières formules pour les cuvelages de puits eurent amené, pour les puits profonds, la nécessité de cuvelages ayant des parois telles que leur construction était fort difficile, on se résolut à élever les latitudes permises, c'est-à-dire à diminuer la sécurité. Dans les bassins houillers possédant des mines très riches en grisou (Ostrau-Karvin, mines belges de la 3<sup>me</sup> catégorie), on a dû renoncer à exiger, dans les courants partiels de sortie le maximum, habituel chez nous, de 1 % de grisou. Dans les mines en question on admet encore des atmosphères contenant 3 % de grisou. Rappelons aussi qu'on admet maintenant pour les chemins de fer de bien plus grandes possibilités de danger, c'est-à-dire une réduction de la « marge de sécurité » qu'on aurait trouvée au début absolument extraordinaire.

C'est la nécessité qui a poussé à ces réductions des coefficients de sécurité, c'est-à-dire l'impossibilité technique ou économique de continuer l'exploitation avec d'aussi grands coefficients. L'exploitation d'une mine très grisouteuse où il serait obligatoire de respecter la limite de 1% de grisou dans les courants partiels de retour d'air, deviendrait si onéreuse ou amènerait tellement d'autres dangers (formation de poussières, grande vitesse des courants grisouteux), qu'elle devrait être abandonnée. Le trafic actuel des chemins de fer serait impossible si on n'avait pas passé outre aux craintes émises au commencement au sujet des vitesses, etc. On n'a donc conservé les grandes sécurités du début que tant qu'on a pu en quelque sorte « se payer le luxe » de pareils coefficients de sécurité.

Cette concession que l'on a faite aux exigences modernes a été justifiée par les progrès accomplis au cours des dix dernières années.

De même, dans l'histoire des câbles d'extraction, il semble que l'on s'approche du tournant qui nous fera passer de l'époque du « luxe » où l'on pouvait exiger, sans grand inconvénient, des sécurités élevées, dans l'époque forcée de la nécessité où on devra se résoudre à une diminution de ces sécurités. Dans ce cas aussi, on peut invoquer les deux considérations : nécessité des temps, d'une part, et progrès de la technique, d'autre part, qui permettent de céder à cette nécessité sans crainte.

Pour ce qui est du premier point, il est certain que nous sommes loin d'être arrivés à la limite de la possibilité de fabriquer des câbles possédant la sécurité actuelle pour de plus grandes profondeurs et de plus fortes charges. Cependant, ce coefficient de sécurité élevé ne fait pas moins naître des craintes à un autre point de vue. D'abord, à mesure que le poids du câble s'accroît, la flexibilité du câble, surtout de la partie passant sur la molette pendant la période d'accélération à la remonte, est mise à contribution d'une façon beaucoup plus forte. A cela vient encore s'ajouter, pour les gros câbles, l'augmentation de la compression spécifique aux points d'appui, le plus grand travail de friction intérieure qui se fait dans ces câbles, la plus grande difficulté d'en graisser l'intérieur dans les puits humides, ainsi que le fait que pour ces câbles la partie qui peut être soumise à la surveillance extérieure, si importante, est moindre que pour les câbles plus minces. Les conditions de durabilité et de surveillance sont ainsi plus mauvaises pour les gros câbles.

De plus, les poids à faire mouvoir dans le puits augmentent considérablement. Si l'on maintient un coefficient de sécurité durable

de  $\sigma$ , ce qui correspond à une sécurité initiale d'environ  $\varepsilon = 9$ , les poids du câble en kilogrammes, pour  $\rho = 180$ , se calculent déjà comme suit :

T (m.) =	1,000	1,200	1,400
Q (kil.) =	10,000	13,260	19,950
	12,000	15,910	23,940
	14,000	18,560	27,930
	16,000	21,215	31,920

En même temps, les dimensions de la machine d'extraction, qui, outre la charge de la cage, a encore à supporter le poids double du câble, croissent très notablement.

Il en résulte un nouvel accroissement des dangers que présente le maniement de ces colossales masses métalliques, dangers parmi lesquels nous citerons : les envois des cages à molettes, les chocs sur les taquets, l'arrachement du câble d'équilibre par suite des variations plus fortes de la vitesse et des ralentissements brusques produits par le frein de sécurité.

Les statistiques concernant les accidents survenus lors de l'extraction montrent que le nombre d'accidents causés par des mises à molettes ou par des démarrages trop brusques est incomparablement supérieur à celui des accidents causés par des ruptures simples, c'est-à-dire se produisant sans effets dynamiques. On ne peut, par conséquent, pas prétendre que les accidents causés jusqu'à présent par des ruptures de câbles montrent la nécessité des hauts coefficients de sécurité. Même si cela était le cas, cela ne serait pas vrai pour l'extraction à grande profondeur. Au contraire, de tous les nombreux accidents causés par les mises à molettes et les démarrages trop brusques, il est certain qu'une partie a été causée par les lourds câbles d'extraction et les pesantes machines.

Mais même, si on ne met à charge du grand poids des câbles qu'une partie modérée des derniers accidents, on n'en arrive pas moins à la conclusion que le nombre d'accidents causés par ce poids est décidément plus grand que celui des accidents qui auraient été causés par de simples ruptures si on avait travaillé dans ces puits avec des câbles de moindre sécurité. Ainsi donc, on voit que, même dans les cas les plus défavorables, où de deux maux il faut choisir le moindre, celui-ci est l'admission d'un coefficient de sécurité réduit.

A cela, les mesures de protection déjà prises contre la mise à molettes et celles qu'on prendra encore, ne peuvent changer grand chose, car elles ne suppriment pas la cause du danger : l'énormité des masses mises en mouvement. On peut même dire que la réduction du poids des câbles est le moyen qui se présente à son tour actuellement, dans l'ordre normal suivant lequel la recherche des moyens de sécurité contre la mise à molettes a été poursuivie. Les dispositifs d'enraiment et de détachage du câble constituèrent la première étape. Ces dispositifs laissaient subsister le mal, se contentant d'essayer d'empêcher ses conséquences les plus néfastes. Plus tard, c'est à la machine d'extraction, cause première des accidents, que l'on consacra son attention, et, dans cette voie, on avança par étapes; on commença par faire agir le frein seul automatiquement, puis on chercha à ralentir la marche de la machine déjà avant le moment critique. Pourquoi ne pas faire un pas plus loin et chercher à réduire l'importance même des masses en mouvement ?

Nous avons déjà attiré l'attention plus haut sur l'importance, au point de vue de la sécurité, des charges et des vitesses. Plus réduit peut être le poids du câble par suite de l'admission d'un coefficient de sécurité plus faible, plus grande peut être la charge à égalité de poids du câble et moins grande sera pour l'exploitant la tentation d'augmenter le rendement de l'extraction d'un puits par l'élévation des vitesses.

Pour finir, faisons une comparaison entre la sécurité exigée des câbles et celle des bâtiments, constructions métalliques, ponts, etc. Cette comparaison fait ressortir, au profit des câbles d'extraction les différences suivantes :

1. Un bâtiment, un pont ou une construction de ce genre est un tout très complexe, dont la résistance ne dépend pas seulement de la bonne constitution des diverses pièces le composant mais aussi de l'exactitude de leur assemblage, ainsi que de celle du calcul des pièces et du bâtiment entier. A la construction d'un tel bâtiment participent un grand nombre d'ouvriers divers et de machines; des fautes de la part des hommes, des irrégularités dans la marche des machines peuvent diminuer considérablement la sécurité de l'ensemble de sorte que, finalement, malgré un coefficient de sécurité théorique de par exemple 8, la sécurité réelle pourra n'être que de 2 ou 3. Au contraire, un câble d'extraction est, comparativement, de fabrication aisée et pouvant être facilement surveillée et il semble impossible qu'une accumulation de fautes en vienne réduire la sécurité dans une mesure semblable à celle indiquée pour un bâtiment.

2. La sécurité d'un câble d'extraction peut être de temps en temps contrôlée, au moins approximativement, par l'examen d'un morceau détaché du câble. Il est vrai que la solidité du morceau inférieur ne garantit pas la sécurité du câble entier, mais cependant, les différences ne sont pas tellement importantes que l'on puisse refuser toute utilité à cet examen périodique. Le fait que l'on a autorisé le système par poulie d'entraînement (système Koepe), qui ne permet pas de pratiquer ce mode de contrôle, prouve seulement la grande confiance que, avec raison, l'on place dans la sécurité du câble en se basant sur les chiffres fournis par le fabricant. Par contre, la sécurité des bâtiments est incontrôlable.

3. La détérioration d'un câble pendant le travail ne se manifeste, en grande partie, qu'à sa surface; cette détérioration, en effet, est causée principalement par le frottement sur la surface des molettes et des tambours; on peut donc la surveiller facilement, continuellement et sans devoir troubler aucunement l'exploitation. Par contre, pour des bâtiments, il peut exister des faiblesses, des défauts qui échappent à l'œil; citons par exemple : poutres pourries, poutres à fibres courbes ou à nœuds, barres exposées à une tension ou à une pression trop forte, certains défauts que l'on dissimule par le mastic. De plus, il est à peine possible de soumettre un bâtiment à un examen durable au point de vue de sa sécurité.

4. Il peut arriver, pour les bâtiments, que la charge ordinaire soit dépassée de façon dangereuse (vent très violent, chute de neige particulièrement forte ou les deux ensemble) pendant que des hommes les habitent; un trop grand rassemblement d'hommes peut lui-même faire que la charge ordinaire soit dépassée. Pour les câbles d'extraction une grande sécurité pour les hommes est déjà donnée *a priori* par le fait que, journellement, avant leur descente, le câble a donné des preuves d'une surabondante sécurité en transportant le poids plus considérable des produits de la mine. La valeur de cette preuve est mise en lumière par le nombre relativement grand, — quoique absolument encore fort petit. — des ruptures simples de câbles survenues au cours de l'extraction des produits et le nombre absolument insignifiant de pareils accidents survenus pendant le transport du personnel, surtout si l'on ne considère que les grandes profondeurs. Mais s'il entre en jeu des circonstances extraordinaires (collision de cages, mise à molettes), le danger que font courir au personnel de semblables accidents est en lui-même si grand que la

comparaison fait paraître le danger des ruptures de câbles comme de peu d'importance.

Mais il est impossible que la présence d'un grand nombre de personnes dans la cage, — comme cela peut se produire dans les bâtiments, — vienne imposer au câble une surcharge exagérée.

5. Quoique, au sujet du calcul des câbles d'extraction, il y ait des divergences d'opinion, celles-ci sont bien moindres que celles existant au sujet du calcul des constructions métalliques; mentionnons seulement comme exemple les discussions au sujet de la véritable formule du flambement. Il s'en suit qu'on ne doit pas laisser dans le calcul des câbles une marge d'erreur comme celle nécessaire pour les bâtiments. De plus, les bancs d'épreuves introduits récemment permettent une détermination immédiate de la résistance du câble, ce qui n'est pas possible dans le domaine de la construction.

La conclusion de ce qui précède peut être résumée comme suit :

1. Avec les coefficients de sécurité prescrits actuellement, le poids des câbles croît en proportion bien plus forte que la profondeur et la charge.

2. Le nombre des accidents causés par ce poids considérable des câbles est très probablement plus grand que celui des accidents évités par ces hauts coefficients de sécurité.

3. On peut obtenir une notable diminution du poids des câbles par l'emploi de fils possédant une plus grande résistance à la rupture.

4. Cependant, il est très désirable, pour les grandes profondeurs, de voir autoriser une réduction du coefficient de sécurité.

5. Cette réduction paraît possible. En effet, pour les fortes charges, la marge de résistance contenue dans le câble pour faire face à des tensions particulièrement élevées, ainsi que pour compenser la détérioration progressive, à égalité de sécurité, augmente de telle façon que des coefficients de sécurité plus réduits laisseraient encore une marge de résistance suffisante.

6. La comparaison avec d'autres domaines de la technique fait conclure à la justification et à la possibilité de cette mesure.

7. Pour ce qui concerne l'étendue de cette réduction, il n'est pas nécessaire de la pousser, pour l'exploitation des mines de houille,

jusqu'à la substitution d'un coefficient de sécurité additif au lieu d'un multiplicatif. Au contraire, cette note prouve qu'on gagnerait déjà beaucoup en réduisant le coefficient durable de sécurité à 4 ou 5, car dans ce cas, le poids des câbles avec tous ses inconvénients se trouve déjà considérablement réduit.

