

La sécurité des câbles d'extraction⁽¹⁾

PAR

A.-D.-F. BAUMANN

Maschineninspektor à Warmbrunn (2)

Les commissions anglaise et transvaalienne des câbles ont attiré l'attention sur l'extraordinaire accroissement de la marge de résistance qui est, si l'on maintient le coefficient de sécurité actuellement exigé, la conséquence de l'augmentation du travail exigé des câbles du fait de l'approfondissement des puits et de l'augmentation des charges extraites. Ces considérations les ont amenées à recommander l'adoption, au lieu du coefficient de sécurité actuel, restant invariable pour toutes profondeurs et charges, d'une sécurité additive, qui serait à ajouter à la somme des efforts normaux demandés aux câbles.

Commentant les vues de ces deux commissions, M. le Professeur Herbst, d'Aix-la-Chapelle, a prouvé (3) comment, en théorie, se justifierait la réduction de la marge de résistance au fur et à mesure de l'accroissement de l'effort demandé au câble, et il a proposé de réaliser cette réduction, non par l'addition d'une marge de résistance mais simplement par la diminution du coefficient de sécurité.

La façon dont il répond aux objections que l'on pourrait élever contre sa manière de voir est convaincante ; aussi a-t-il été, en fait, peu contredit.

Il nous a cependant paru intéressant d'examiner quelles seraient les conséquences de l'admission de sa proposition, et de rechercher par des exemples dans quelles limites cette réduction du coefficient de sécurité serait opportune.

(1) Nous avons donné, dans la 4^e livr. du tome XVII, la traduction d'une étude de M. le Professeur Herbst sur cette importante question. Il nous paraît intéressant de donner aussi, aux fins et sous les réserves déjà indiquées, la traduction d'un travail de M. le *Maschineninspektor* Baumann qui vient de paraître dans le *Gluckauf* du 12 décembre 1912.

(2) Traduction de G. W.

(3) *Gluckauf*, 1912 (n^o 23), et *Annales des Mines de Belg.*, t. XVII, 4^e liv.

Le tableau n° 15 annexé à mon précédent article sur « le coefficient de sécurité des câbles d'extraction » (1) montre que, pour les faibles profondeurs, il n'y a pas d'inconvénients à conserver les prescriptions actuelles sur la matière ; il n'y a, en effet, à envisager, dans ces cas, que des câbles d'épaisseur faible ou moyenne.

Mais il en est déjà autrement quand on envisage une profondeur de puits de 750 mètres et une extraction par cages à huit berlines. Les câbles doivent alors avoir une épaisseur incommode si l'on ne veut pas dépasser une résistance à la rupture de 150 kilogrammes par millimètre carré.

Des difficultés surgissent déjà quand il s'agit de tenir toujours prêtes à l'accrochage, pour que l'extraction se fasse sans perte de temps, huit berlines de dimensions ordinaires (de 550 à 650 kilogrammes de charge utile). Et cependant, il est très possible que l'on augmente encore le nombre de wagonnets à extraire en une fois ou — ce qui tardera peut-être encore moins à se produire — que l'on augmente leur capacité jusqu'au double.

Dans l'étude actuelle, nous ne prendrons donc plus en considération les petites profondeurs et les faibles charges extraites; nous n'envisagerons plus que des profondeurs de 750, 1.000, 1.250 et 1.500 mètres, avec des charges d'extraction de 14.400 et 28.800 kilogrammes, et nous examinerons quels seraient, dans ces conditions, les diamètres des câbles et à quelles marges de force portante correspondraient diverses résistances à la rupture des fils du câble et divers coefficients de sécurité.

Pour les grandes profondeurs, il ne peut plus être question d'envisager, comme résistance à la rupture, des chiffres inférieurs à 150 kilogrammes par millimètre carré. Nous ne tiendrons par conséquent plus compte que des fils en acier dont b (la charge de rupture) = 150, 180, 210 et 240 kilogrammes par millimètre carré. En regard du coefficient de sécurité réglementaire : $x' = 6$, en-dessous duquel les câbles ne peuvent descendre, nous avons placé ceux proposés par M. Herbst : $x' = 5$ et 4. Nous avons encore admis, pour les câbles neufs des sécurités de 50 % plus élevées, soit $x = 9, 7 \frac{1}{2}$ et 6.

D'autre part, nous avons considéré que pour les câbles usagés, la force des fils a diminué de $\frac{1}{3}$; leur résistance à la rupture, b' , n'est plus ainsi que de 100, 120, 140 et 160 kilogrammes respectivement par millimètre carré.

(1) *Gluckauf*, 1910, p. 1521.

Dans le tableau I, nous avons rassemblé les données concernant la section, le poids et le diamètre des câbles pour les diverses profondeurs, les divers coefficients de sécurité et les diverses résistances à la rupture des fils, ainsi que pour une charge du câble de 14.400 kilogs.

Le tableau II contient les mêmes données pour une charge de 28.800 kilogs.

Comme les formules

$$Q = \frac{100 P}{100 b : x - H} = \frac{P}{b : x - 0.01 H} \quad \text{et} \quad S = 0.01 Q H$$

le démontrent, les sections et poids du câble doivent, pour une charge P double, également être doubles. Il n'y a que le diamètre du câble qui s'accroisse dans une proportion bien moindre, ainsi que le montrent clairement les diagrammes 1 à 8.

Du tableau III, on déduit la marge de résistance de la charge de rupture au-delà de la charge maximum des câbles neufs pour les profondeurs et coefficients de sécurité examinés.

Le tableau IV reproduit les mêmes données pour des câbles affaiblis de $\frac{1}{3}$. Nous avons renoncé à mettre en regard de ces données celles accompagnant une charge de l'extrémité du câble de $P = 28.800$ kilogrammes, car il est aisé de doubler les valeurs trouvées pour $P = 14.400$ kilogrammes.

TABLEAU I. — Section (Q), poids (S) et diamètre (d) du câble pour une charge totale (P = 14,400 kilogs).

Charge de rupture b en k/mm^2	Profondeur d'extraction H		750 m.			1,000 m.			1,250 m.			1,500 m.		
	Coefficient de sécurité x		9	7.5	6	9	7.5	6	9	7.5	6	9	7.5	6
150	Section utile du câble neuf	mm ²	1,571	1,152	823	2,160	1,440	960	3,456	1,920	1,152	8,640	2,880	1,440
180	$Q = \frac{100 P}{100 \frac{b}{x} - H}$	»	1,152	873	640	1,440	1,029	720	1,920	1,252	823	2,880	1,600	960
210		»	910	702	524	1,080	800	576	1,329	929	640	1,728	1,108	720
240		»	751	588	443	864	655	480	1,016	724	524	1,234	847	576
150		Poids du câble :	kilog.	11,782	8,640	6,172	21,600	14,400	9,600	43,200	24,000	14,400	129,600	43,200
180	$S = 0.01 QH$	»	8,640	6,544	4,800	14,400	10,286	7,200	24,000	15,650	10,285	43,200	24,000	14,400
210		»	6,822	5,286	3,930	10,800	8,000	5,760	16,615	10,613	8,000	25,920	16,620	10,800
240		»	5,634	4,408	3,324	8,640	6,545	4,800	12,705	9,045	6,544	18,512	12,720	8,640
150	Diamètre du câble :	mm.	67.1	57.5	48.5	78.7	64.2	52.4	99.5	74.2	57.4	157.3	90.8	64.2
180	$d = 1.5 d_q = 1.5 \sqrt{\frac{4Q}{\pi}}$ $= 3 \sqrt{\frac{4Q}{\pi}}$	»	57.6	50.0	42.8	64.2	54.3	45.4	74.2	59.9	48.6	90.8	67.7	52.4
210		»	51.1	44.8	38.8	55.6	47.9	40.6	61.7	51.6	42.8	70.4	56.3	45.4
240		»	46.4	41.1	35.6	49.8	43.3	37.1	54.0	45.6	38.7	59.5	49.3	40.6

TABLEAU II. — Section (Q), poids (S) et diamètre (d) du câble pour une charge totale (P = 28,800 kilogs.)

Charge de rupture b en k/mm^2	Profondeur d'extraction H		750 m.			1,000 m.			1,250 m.			1,500 m.		
	Coefficient de sécurité x		9	7.5	6	9	7.5	6	9	7.5	6	9	7.5	6
150	Section utile du câble neuf	mm ²	3,142	2,304	1,646	4,320	2,880	1,920	6,912	3,840	2,304	17,280	5,760	2,880
180	$Q = \frac{100 P}{100 \frac{b}{x} - H}$	»	2,304	1,746	1,280	2,880	2,058	1,440	3,840	2,504	1,646	5,760	3,200	1,920
210		»	1,820	1,404	1,048	2,160	1,600	1,152	2,658	1,858	1,280	3,456	2,216	1,440
240		»	1,502	1,176	886	1,728	1,310	960	2,032	1,448	1,048	2,468	1,694	1,152
150		Poids du câble :	kilog.	23,564	17,280	12,344	43,200	28,800	19,200	86,400	48,000	28,800	259,200	86,400
180	$S = 0.01 QH$	»	17,280	13,088	9,600	28,800	20,572	14,400	48,000	31,300	29,570	86,400	48,000	28,800
210		»	13,644	10,536	7,860	21,600	16,000	11,520	33,230	23,226	16,000	51,840	33,240	21,600
240		»	11,268	8,816	6,648	17,280	13,090	9,600	25,410	18,090	13,088	37,024	25,440	17,280
150	Diamètre du câble :	mm.	94.9	81.2	68.7	111.3	90.9	74.2	140.7	104.9	81.2	222.4	128.5	90.8
180	$d = 1.5 d_q = 1.5 \sqrt{\frac{4Q}{\pi}}$ $= 3 \sqrt{\frac{4Q}{\pi}}$	»	81.3	70.7	60.6	90.9	76.8	64.2	104.9	84.7	68.7	128.5	95.7	74.2
210		»	72.2	63.4	54.8	78.7	67.8	57.4	87.3	73.0	60.6	99.5	79.7	64.2
240		»	65.6	58.0	50.4	70.4	61.3	52.4	76.3	64.4	54.8	84.1	69.7	57.4

TABLEAU III. — Marge de résistance K de la charge de rupture totale B, en plus de la charge maximum L, pour des câbles neufs, la charge étant de 14,400 kilogs.

Charge de rupture b en l/mm^2	Profondeur d'extraction H	750 m			1,000 m			1,250 m			1,500 m			
		Coefficient de sécurité α			9	7.5	6	9	7.5	6	9	7.5	6	9
150	Charge de rupture du câble $B = bQ$ tones	235.7	172.8	123.4	324.0	216.0	144.0	518.4	290.0	172.8	1296.0	432.0	216.0	
	Charge maximum $L = P + S$ »	26.2	23.0	20.6	36.0	28.8	24.0	57.6	38.6	28.8	141.0	57.6	36.0	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	209.5	149.8	102.8	288.0	187.2	120.0	460.8	251.4	144.0	1152.0	374.4	180.0	
180	Charge de rupture du câble $B = bQ$ tones	207.3	156.9	114.4	259.2	185.1	129.6	345.6	225.4	248.1	518.4	288.0	172.8	
	Charge maximum $L = P + S$ »	23.0	21.0	19.1	28.8	24.7	21.6	38.4	30.1	24.7	57.6	38.4	28.8	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	184.3	135.9	95.3	230.4	160.4	108.0	307.2	195.3	123.4	460.8	249.6	144.0	
210	Charge de rupture du câble $B = bQ$ tones	191.0	147.5	109.9	226.8	168.0	121.0	279.1	195.1	133.1	362.8	232.7	151.2	
	Charge maximum $L = P + S$ »	21.2	19.7	18.3	25.2	22.4	20.2	31.0	26.0	22.2	40.3	31.0	25.2	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	169.8	127.8	91.6	201.6	145.6	100.8	248.1	169.1	110.9	322.5	201.7	126.2	
240	Charge de rupture du câble $B = bQ$ tones	180.3	141.1	106.3	207.3	157.1	115.2	241.0	177.2	125.7	296.2	203.3	138.3	
	Charge maximum $L = P + S$ »	20.0	18.8	17.7	23.0	20.9	19.2	27.0	23.6	21.0	32.9	27.1	23.0	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	160.3	122.3	88.6	184.3	136.2	96.0	217.0	153.6	104.7	263.3	176.2	115.2	

Le rapport à la charge de rupture totale B du câble neuf se chiffre, pour toutes les charges de rupture, par :

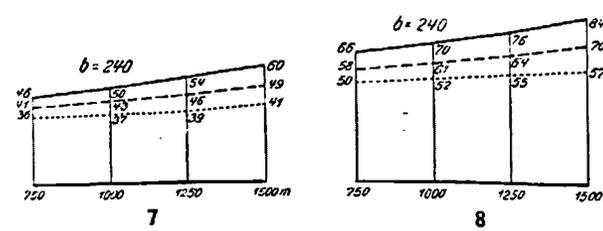
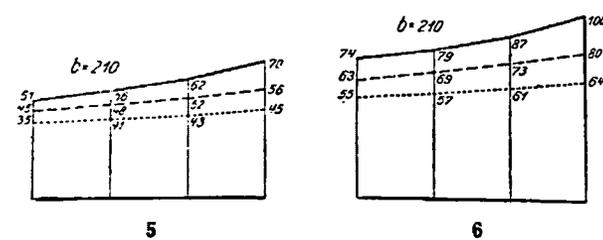
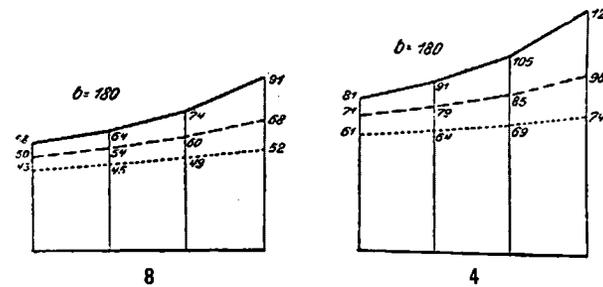
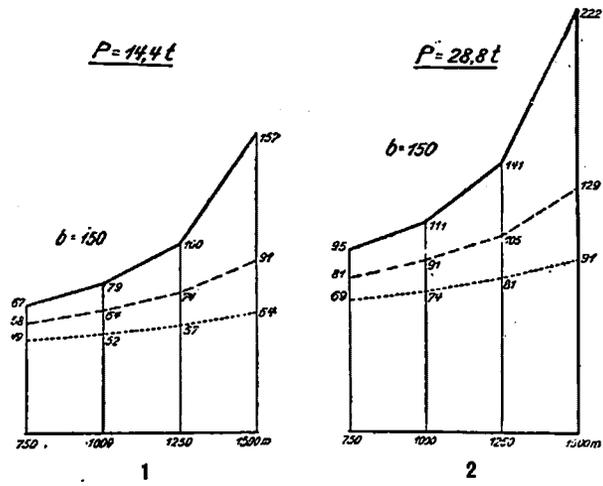
0	Pour la charge maximum L	%	11.11	13.33	16.67	11.11	13.33	16.67	11.11	13.33	16.67	11.11	13.33	16.67
à	Pour la marge de résistance K	%	88.89	86.67	83.33	88.89	86.67	83.33	88.89	86.67	83.33	88.89	86.67	83.33
∞	Le rapport L : K est de		1 : 8	1 : 6.5	1 : 5	1 : 8	1 : 6.5	1 : 5	1 : 8	1 : 6.5	1 : 5	1 : 8	1 : 6.5	1 : 5

TABLEAU IV. — Marge de résistance K de la charge de rupture totale B en plus de la charge maximum L, pour des câbles usagés, la charge étant de 14,400 kilogs.

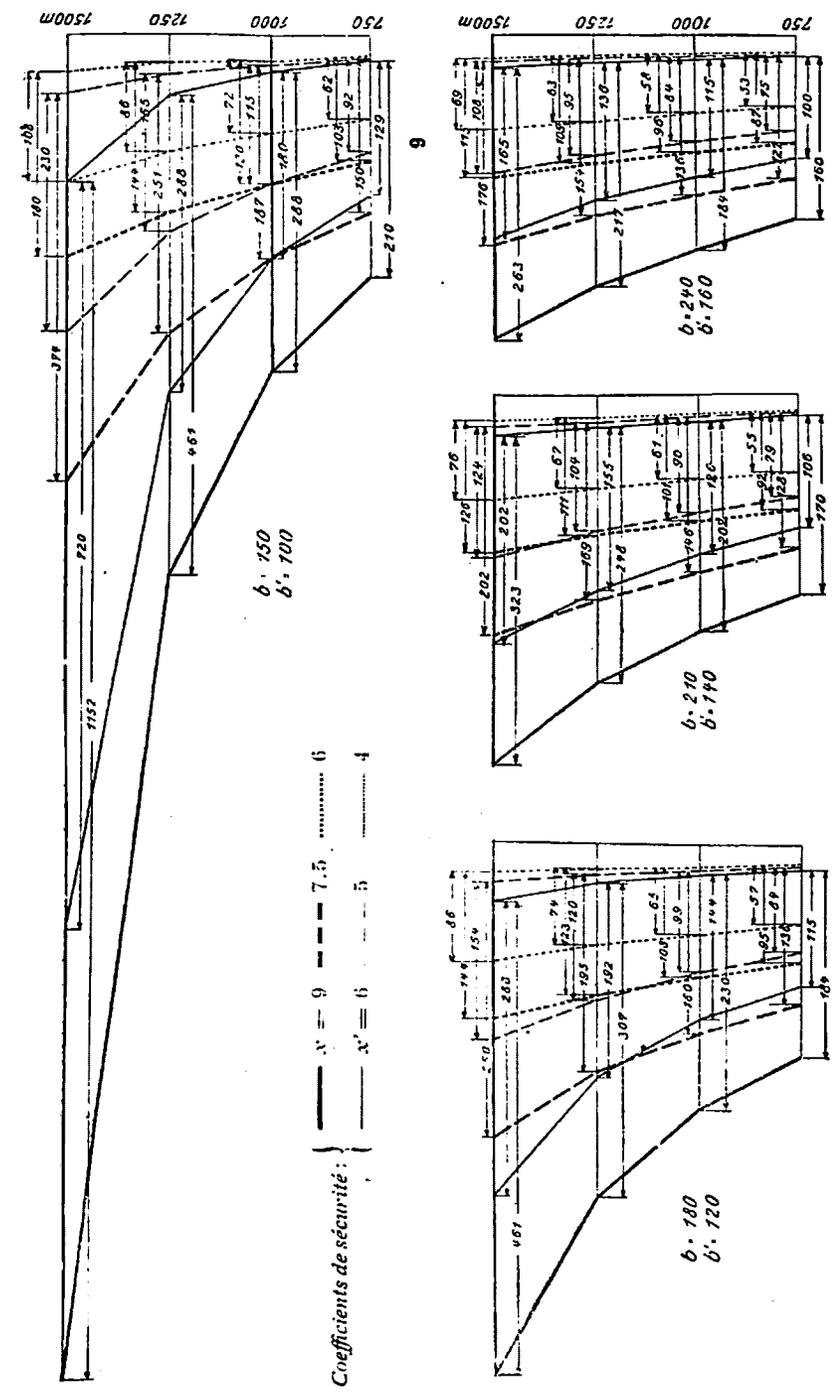
Charge de rupture b' en k/mm^2	Profondeur d'extraction H	750 m.			1,000 m			1,250 m.			1,000 m			
		Coefficient de sécurité α			9	7.5	6	9	7.5	6	9	7.5	6	9
150	Charge de rupture du câble $B = b'Q$ tones	157.1	115.2	82.3	216.0	144.0	96.0	345.6	193.3	115.2	864.0	288.0	144.0	
	Charge maximum $L = P + S$ »	26.2	23.0	20.6	36.0	28.8	24.0	57.6	38.6	28.8	144.0	57.6	36.0	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	130.8	92.2	61.7	180.0	115.2	72.0	288.0	154.7	86.4	720.0	230.4	108.0	
180	Charge de rupture du câble $B = b'Q$ tones	138.2	104.6	76.3	172.8	123.4	86.4	230.4	150.3	98.7	345.6	192.0	115.2	
	Charge maximum $L = P + S$ »	23.0	20.9	19.1	28.8	24.7	21.6	38.4	30.1	24.7	57.6	38.4	28.8	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	115.2	83.7	57.2	144.0	98.7	64.8	192.0	120.2	74.0	288.0	153.6	86.4	
210	Charge de rupture du câble $B = b'Q$ tones	127.3	98.3	73.3	151.2	112.0	80.6	186.1	130.0	88.7	241.9	155.1	100.8	
	Charge maximum $L = P + S$ »	21.2	19.7	18.3	25.2	22.4	20.1	31.0	26.0	22.2	40.3	31.0	25.2	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	106.1	78.6	55.0	126.0	89.6	60.5	155.1	104.0	66.5	201.6	124.1	75.6	
240	Charge de rupture du câble $B = b'Q$ tones	120.2	94.0	70.9	138.2	104.7	76.8	162.6	118.1	83.8	197.4	135.5	92.1	
	Charge maximum $L = P + S$ »	20.0	18.8	17.7	23.0	20.9	19.2	27.0	23.6	20.9	32.9	27.1	23.1	
	Marge de résistance $K = B - L$ »	100.2	75.2	53.2	115.2	83.8	57.6	135.6	94.5	62.8	164.5	108.4	69.1	

Le rapport à la charge de rupture totale B du câble usagé se chiffre, pour toutes les charges de rupture, par :

0	Pour la charge maximum L	%	16.67	20	25	16.67	20	25	16.67	20	25	16.67	20	25
à	Pour la marge de résistance K	%	83.33	80	75	83.33	80	75	83.33	80	75	83.33	80	75
∞	Le rapport L : K est de		1 : 5	1 : 4	1 : 3	1 : 5	1 : 4	1 : 3	1 : 5	1 : 4	1 : 3	1 : 5	1 : 4	1 : 3



Coefficients de sécurité : — $x = 9$; - - - $x = 7.5$; — $x = 6$.
 Diagrammes 1 à 8 : Diamètre des câbles en millimètres.



Nous avons porté aux diagrammes 9 à 12 la résistance à la rupture B et la charge totale L du câble. On peut y voir la marge de force $K = B - L$ pour les divers cas.

Il est facile de voir, d'après ces diagrammes, que, même pour le plus petit coefficient de sécurité : $\alpha' = 4$, les marges de résistance augmentent encore peu à peu au fur et à mesure que la profondeur s'accroît; mais on voit aussi que ces marges de résistance croissent dans une proportion bien inférieure à celle de l'accroissement de la résistance à la rupture des fils.

La proportion entre la charge maximum et la marge de résistance reste, avec toutes les profondeurs et toutes les charges, pour un même coefficient de sécurité, invariable.

La réduction du diamètre et du poids des câbles dépend plus de la résistance à la rupture des fils que du coefficient de sécurité. Il s'en suit que la différence entre les diverses grosseurs de câbles qui résultent de l'introduction des coefficients de sécurité : $\alpha = 9, 7 \frac{1}{2}$ et 6 , ne fera que diminuer au fur et à mesure que s'accroîtra la résistance à la rupture. Dans le diagramme 1, pour $b = 150$, les différences entre les diamètres du câble à une profondeur de 1,500 mètres et en admettant comme coefficient de sécurité $\alpha = 9, 7 \frac{1}{2}$ et 6 , sont encore 66 et 93 millimètres; pour $b = 250$ (voir diagramme 4), elles ne sont plus que 11 et 19 millimètres.

Il résulte de ces considérations que la réduction du coefficient de sécurité, avantageuse en soi, apparaît comme nécessaire et indispensable si on ne veut dépasser comme résistance à la rupture des fils 180 kilogrammes par millimètre carré et si on veut atteindre des profondeurs de 1,000 mètres et plus, et des charges, à l'extrémité du câble, de 15 tonnes et plus.

