

LES ESSAIS
DE
CABLES D'EXTRACTION

PAR

LUCIEN DENOEL

Ingénieur principal des Mines
Professeur à l'Université de Liège.

Cette note reproduit, en l'abrégeant sur quelques points et en la complétant, la communication que nous avons présentée au Congrès International des mines de Düsseldorf, en juin 1910. Pour répondre à la demande que le Comité d'organisation nous avait fait l'honneur de nous adresser, ce rapport expose en premier lieu les mesures de sécurité adoptées en Belgique concernant les câbles utilisés pour la translation du personnel, en second lieu, les méthodes suivies pour les essais de câbles, en aloès et en métal.

La première partie se trouvera fort écourtée dans la présente publication. Les faits qu'elle expose sont connus de la plupart des lecteurs des *Annales*. La Commission instituée par le Gouvernement pour la revision des règlements miniers délibère actuellement sur la question *des puits et*

de la translation du personnel, et des modifications plus ou moins importantes, suggérées par l'expérience acquise en ces dernières années, seront sans doute apportées au texte du projet qui avait été primitivement adopté. Il n'y a donc plus guère d'utilité à reproduire ici l'extrait du règlement relatif aux câbles et le commentaire que nous en avons fait.

Dans la seconde partie, nous étudions spécialement les influences des méthodes d'essai sur les résultats des essais de câbles et la question d'uniformité des essais. Quelques points nécessitant encore des recherches n'ont pu être élucidés complètement, ni donner lieu à des conclusions à la date du Congrès ; depuis lors, nous avons procédé à un certain nombre d'essais, portant notamment sur la comparaison des câbles humides et des câbles secs, dont nous donnons ici un compte-rendu.

Des échantillons nous ont été fournis spécialement par la direction des charbonnages de Marihaye et de Cockerill.

Les essais ont été faits au banc d'épreuves de l'*Association des Industriels de Belgique pour l'étude et la propagation des engins et mesures propres à préserver les ouvriers des accidents du travail*, à Bruxelles, et avec la collaboration dévouée de M. Deladrière, directeur technique de l'Association. De nombreux directeurs de charbonnages aussi ont bien voulu nous documenter de la façon la plus complète, et nous sommes heureux d'exprimer à tous ces messieurs nos plus vifs remerciements.

I. — État de la question.

On sait que les câbles en aloès sont encore de beaucoup les plus employés dans les charbonnages belges ; près des $\frac{3}{4}$ des puits d'extraction en sont munis, plusieurs d'entre

eux effectuent des extractions importantes à des profondeurs qui atteignent même un millier de mètres. Parmi les installations de câbles métalliques, les plus fréquentes sont celles de câbles plats s'enroulant sur bobines ; on compte enfin quelques machines à tambour ou à poulie Koepe. Ce dernier système a fait des progrès dans ces dernières années, ce qu'il faut attribuer notamment à l'introduction de l'équipement électrique des sièges d'extraction.

Il résulte de cette situation que les essais de câbles en aloès retiendront principalement notre attention, d'autant plus que l'étude des câbles métalliques n'est pas aussi avancée chez nous que dans les autres pays miniers, notamment en Allemagne et en Autriche.

Les essais de câbles ne font l'objet d'aucune prescription réglementaire en Belgique ; le règlement de police sur les mines de 1884 se borne à prescrire des visites périodiques par un agent expérimenté.

Des divergences de vues existent parmi les exploitants de mines au sujet de l'opportunité des essais. Quelques-uns font des essais systématiques, à la réception des câbles, et périodiquement, lors du renouvellement des pattes d'attache des cages, et, le cas échéant, lors de la réfection de l'enlèvement, plus rarement, à la mise hors service. D'autres se contentent d'éprouver les câbles à l'état neuf et à l'expiration de la durée ou du tonnage garanti par le fabricant ; d'autres enfin s'en remettent exclusivement aux appréciations des fournisseurs ou des agents chargés de la surveillance des câbles. Quelles que soient l'expérience et la vigilance de ces agents, il est indiscutable que les essais de résistance constituent une grande garantie de sécurité et qu'ils révèlent parfois un défaut de solidité que les indices extérieurs seuls ne font pas soupçonner. Ce mode de contrôle a rencontré dans ces dernières années un courant d'opinion favorable attesté par le nombre croissant des

houillères qui ont recours aux essais occasionnels et même systématiques.

Le principe des essais de câbles a été adopté aussi par la Commission chargée par le Gouvernement de préparer la révision des règlements miniers. Cette commission, dont font partie des ingénieurs du Corps des mines, des directeurs de charbonnage et des ouvriers, a pris sur cette question l'avis de quelques fabricants de câbles les plus autorisés ; elle a fait procéder à une enquête générale sur la situation des câbles d'extraction et sur la translation du personnel.

La principale innovation qu'elle a introduite dans la réglementation est celle des essais de résistance des câbles ; pour le surplus, elle ne fait que consacrer les mesures de précaution dont les directeurs prudents et soucieux de leur responsabilité ont depuis longtemps pris l'initiative.

Les essais sont imposés avant la mise en service du câble, après un temps déterminé de fonctionnement, sur les pattes coupées périodiquement, et lors de la confection des épissures.

Enfin, la visite des câbles ayant une importance primordiale pour la sécurité, il a paru opportun d'exiger de la part des agents qui en sont chargés des garanties de capacité et d'indépendance.

Ce projet de règlement est connu depuis assez longtemps de tous les exploitants de mines et bon nombre d'entre eux s'en inspirent ; il est permis de lui attribuer une certaine influence sur la multiplication du nombre des essais de câbles que nous avons constatée ces dernières années.

Ce résultat est dû aussi sans conteste à l'institution, par l'*Association des Industriels de Belgique*, d'un banc d'épreuves spécial pour câbles de mine et d'un service de surveillance pour câbles et engins d'extraction.

Cet établissement a comblé une véritable lacune, les

exploitants de mines étant dépourvus des moyens pratiques de vérifier souvent la solidité de leur câble, car les bancs d'épreuves existants, n'étant pas outillés pour ce but, étaient trop faibles ou trop encombrés d'essais divers. Actuellement, on peut dire que l'Association des Industriels possède à peu près le monopole des essais de câbles en Belgique, tout au moins pour les câbles en aloès ; elle a procédé en 1909 à environ 900 essais de câbles de mines, dont une centaine de câbles neufs et le reste de câbles en service. La surveillance de l'Association s'exerce en outre à la réception des câbles et par des visites périodiques.

Tout câble commandé par un affilié du service des câbles est soumis à réception par l'Association.

Pour les câbles de mines, cet examen ne consiste pas seulement dans des essais de rupture quand le câble est terminé, mais il comporte encore la vérification de la fabrication par le prélèvement et l'essai d'échantillons des matières mises en œuvre, ce qui permet de se rendre compte très exactement de la solidité du câble sur toute la longueur.

Pour les câbles en acier, il est procédé à des essais supplémentaires de flexion, de torsion et d'allongement sur les fils métalliques mis en œuvre.

La fréquence des visites périodiques sur place des câbles en service, est déterminée par les inspecteurs d'après le service du câble.

Tous les câbles de charbonnage servant à transporter ou des hommes ou des matériaux, tels que : câbles d'extraction, de secours, d'enfoncement, de vallée, sont visités au moins une fois par quinze jours et souvent tous les huit jours. Le nombre des visites est déterminé d'après le travail du câble, son état d'entretien et les soins plus ou moins minutieux qu'apporte le charbonnage à l'usage des câbles.

La visite ne se borne pas simplement au câble au point de vue de la solidité, le visiteur examine également l'état du câble au point de vue de son degré d'humidité, pour les câbles en aloès, et du graissage, pour les câbles en métal.

De plus le visiteur étudie, très minutieusement, l'enroulement, les dimensions et la disposition des poulies et tambours, l'état des bobines, l'aplomb des molettes, la disposition du puits, du guidonnage, etc., etc., car tous ces détails sont intimement liés au bon fonctionnement des câbles.

Enfin l'inspecteur s'assure que les manœuvres sont exécutées par le mécanicien dans les conditions nécessaires pour le bon service du câble.

Pour les charbonnages, les résultats de ces visites périodiques et les observations auxquelles elles donnent lieu sont consignés dans un registre de modèle uniforme, qui est déposé dans la salle des machines de chaque puits.

Le nombre des charbonnages affiliés à ce service est actuellement de 36, représentant environ la moitié de la production du pays.

II. — Méthodes d'essais.

Après cet exposé de la situation, nous examinerons plus spécialement les méthodes d'essai suivies au banc d'épreuves de l'Association des Industriels, les causes d'erreur dont peuvent être entachés les résultats, les conclusions à tirer de l'expérience acquise dans ces cinq années et de quelques recherches spéciales.

Cette étude est le complément et la mise au point de celle que nous avons faite en 1905 à la suite d'essais exécutés au banc d'épreuve de l'arsenal des chemins de fer de l'Etat, à Malines (1).

(1) Congrès International des Mines de Liège, 1905, et *Revue universelle des Mines*, t. XV.

Les matériaux de cette étude nous étant fournis par les essais effectués au banc d'épreuves de l'Association des Industriels de Belgique, nous croyons utile de donner en premier lieu une description sommaire de l'installation.

a) *Description de l'installation.* — Le banc a une puissance de 250 tonnes; il permet d'essayer des éprouvettes de 0^m65 de largeur, 0^m07 d'épaisseur et 6 mètres de longueur. Cette dernière dimension a été fixée pour se ménager la possibilité d'essayer des épissures dans leur entier. Les essais courants se font sur des éprouvettes de 1 mètre de longueur libre entre repères. L'effort de traction s'exerce par un piston hydraulique, la compression est produite par une pompe qui fonctionne avec trois pistons jusque 60 atmosphères et avec deux pistons au-delà.

Les petites secousses inhérentes à ce mode de commande sont sans inconvénient pour les essais des câbles; elles contribuent à réaliser les conditions du fonctionnement du câble dans la pratique en reproduisant les mouvements saccadés de la machine d'extraction.

L'effort de traction est indiqué par un manomètre à mercure complété par un appareil enregistreur de l'effort et de l'allongement du système Amsler Lafon.

Le banc d'épreuves a été construit par les ateliers Valère Mabille à Mariemont. Il se compose (fig. 1 et 2) d'un bâti en acier fondu de 12 mètres de longueur reposant sur un massif en béton armé de 2^m30 de largeur et 3 mètres de profondeur. Il porte à une extrémité l'amarre fixe et à l'autre, un cylindre à double effet dont le piston attaque par une traverse les deux barres de traction. Celles-ci sont en acier martelé, filetées et reliées par une traverse portant l'amarre mobile. Le déplacement de cette amarre s'obtient rapidement par un petit moteur électrique qui en est solidaire ou par des manivelles à main, agissant par transmission sur les écrous.

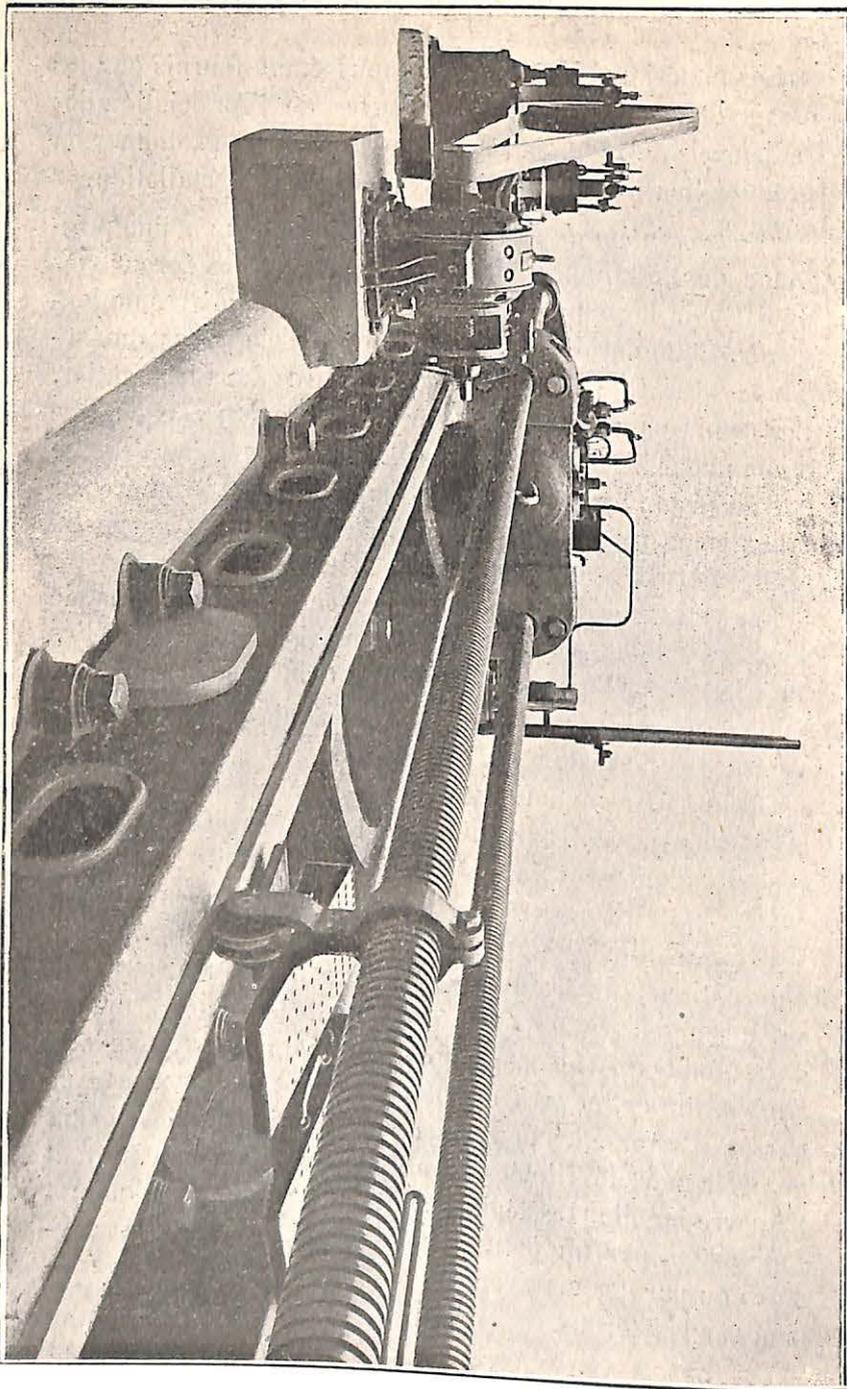


Fig. 1

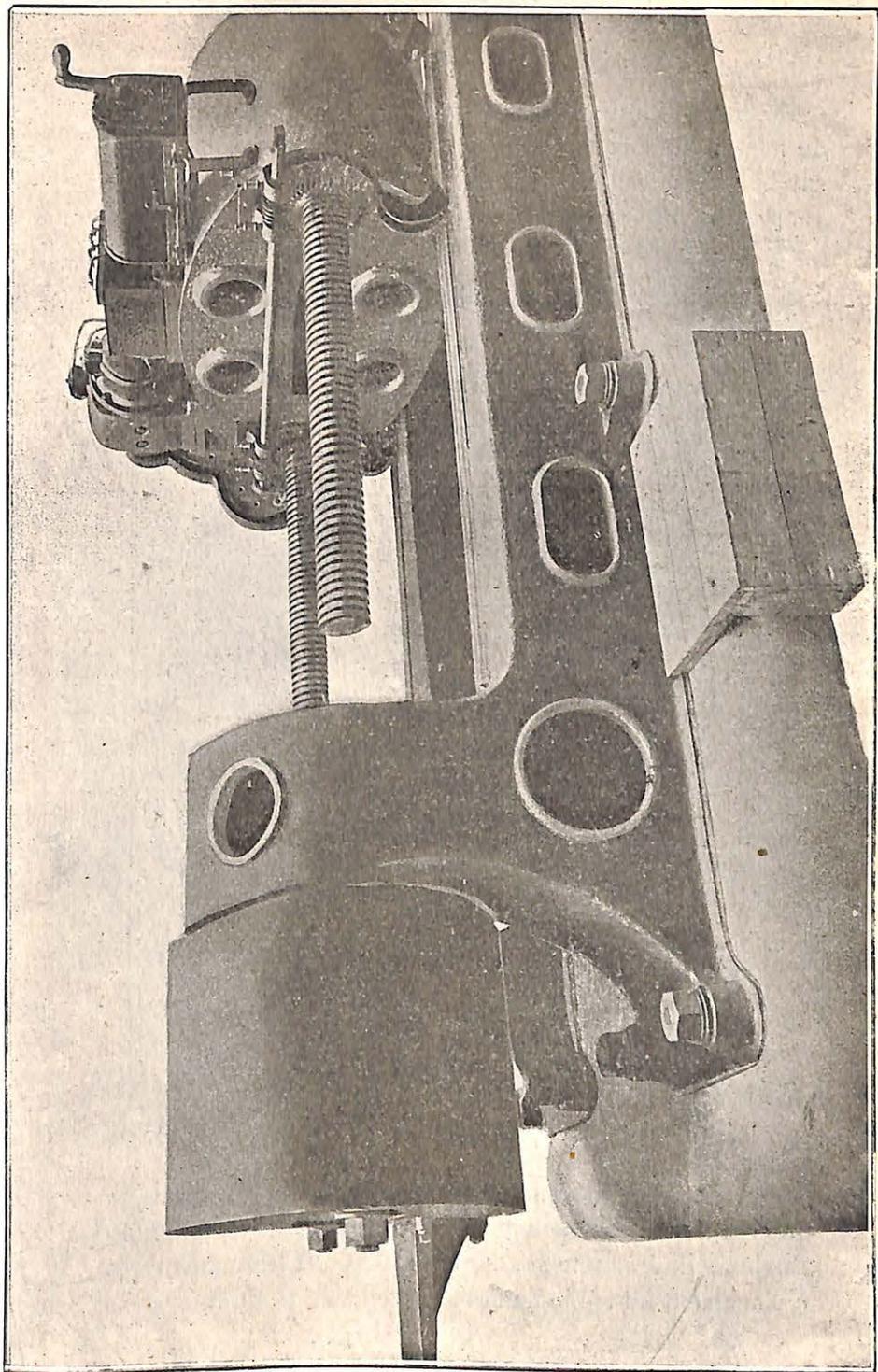


Fig. 2.

La disposition générale de l'appareil tend à placer l'axe du banc le plus bas possible de manière à ramener l'effort sur le bâti; de cette façon, on est parvenu à supprimer les

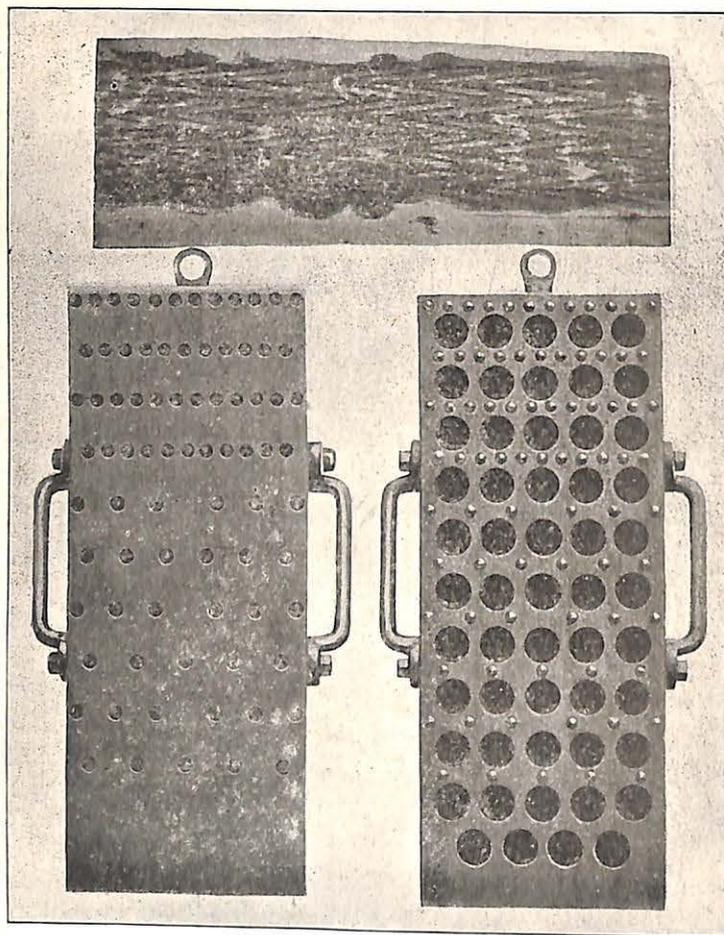


Fig. 3.

poussards supérieurs qui existent dans les autres bancs de cette longueur et de cette puissance. On a réalisé par là une grande facilité et une grande rapidité dans les manœuvres de placement du câble dans l'appareil.

Avec deux opérateurs seulement, on peut essayer jusqu'à rupture un câble de 100 tonnes en moins d'un quart d'heure.

La méthode de fixation des extrémités du câble aux machoires de l'appareil de traction est le problème le plus délicat à résoudre pour les essais de câbles de mine.

L'amarre doit, en effet, réaliser les conditions suivantes :

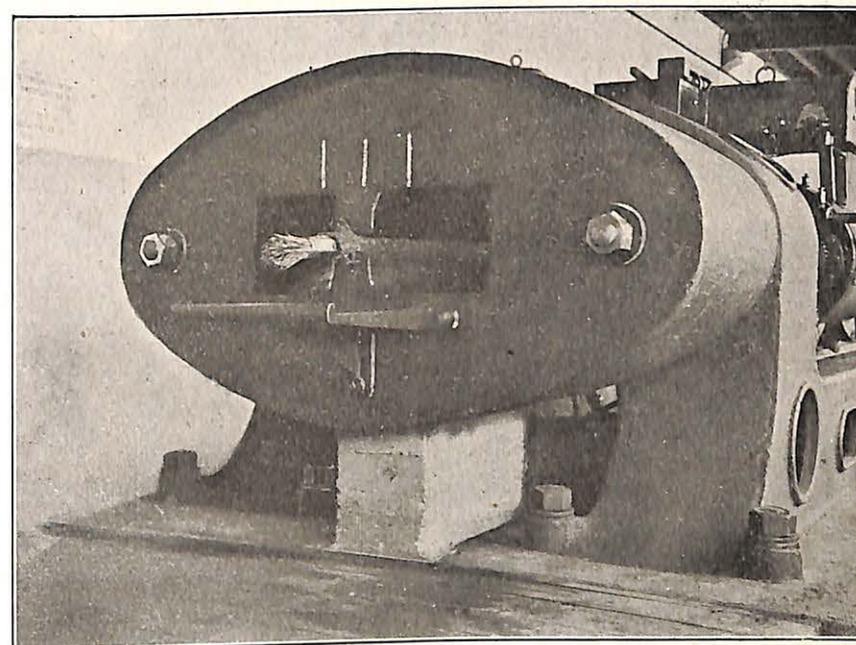


Fig. 4.

Etre d'un maniement commode, rapide et sûr afin que les amarrages et les démarrages puissent s'exécuter rapidement, sans danger, avec un personnel restreint ;

Empêcher d'une façon absolue les glissements du câble ;
Ne prendre cependant qu'une longueur minima afin de réduire autant que possible la longueur des prises d'essai ;

Ne pas aplatir ou déprimer le câble, ce qui provoquerait la rupture dans l'amarre et non en plein câble ;

Assurer le rigoureux parallélisme des torons avec l'axe du banc enfin d'éviter les ruptures par déchirement progressif.

On a adopté un amarrage au moyen de coins qui donne de très bons résultats. Les coins sont en acier forgé; ils sont perforés d'un grand nombre de trous de 40 millimètres de

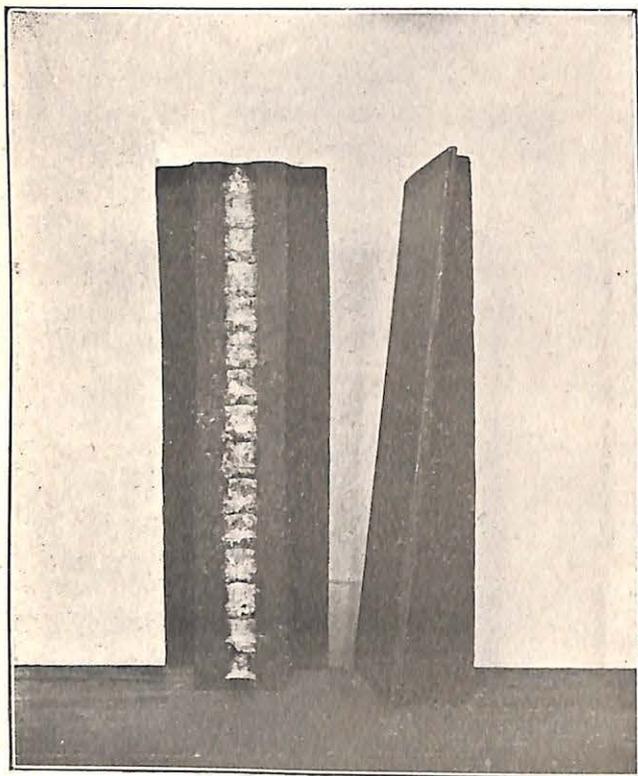


Fig. 5.

diamètre pour être plus légers et donner plus d'adhérence au câble; dans le même but, ils sont munis de 80 pointes en acier trempé dépassant d'environ 8 millimètres (fig. 3).

Ces coins sont supportés par la tablette des amarres et ils saisissent directement les éprouvettes en aloès.

Pour l'essai des câbles plats en acier, on interpose entre chaque coin et l'éprouvette une planchette de bois tendre de 10 millimètres d'épaisseur; les torons s'impriment dans ces planchettes ainsi qu'on le voit dans la figure 3. Pour l'amarrage des câbles ronds, on emploie des coins à rainures coniques, l'éprouvette étant garnie de forte toile et de fils de jute (fig. 4 et 5). L'adhérence obtenue par ce moyen simple est suffisante et la rupture se fait en plein câble, tandis qu'elle a lieu assez fréquemment au voisinage de l'attache lorsqu'on emploie l'amarre en métal fusible.

Les résultats de l'essai sont influencés par la conduite de l'essai, notamment par sa durée et par le taux de la tension de dressage, et par la nature des éprouvettes, c'est-à-dire par leur état d'usure et d'humidité.

b) *Influence de la durée.* — La durée de l'essai est toujours très courte; c'est une fonction de la charge de rupture totale, et par conséquent aussi de la section des éprouvettes, probablement aussi de l'allongement. Pour les essais courants, la pompe de compression marche toujours à même allure, tant que la pression n'atteint pas cinquante tonnes; au delà, on cale un des trois pistons plongeurs. L'essai dure donc proportionnellement plus pour les gros câbles que pour les petits, et en marche normale, au plus deux à trois minutes. Cette courte durée contraste avec la lenteur des essais dans les bancs d'épreuves qui ne sont pas munis d'appareils enregistreurs de l'allongement. Pour effectuer cette dernière mesure, il faut alors lire directement au mètre l'écartement des repères fixés sur le câble et par conséquent suspendre l'application des charges. L'essai, dans ces conditions, dure trente minutes au moins pour un câble de moyenne section. Nous avons procédé de la sorte en 1905 à l'arsenal de Malines et nous avons montré par des essais comparatifs que l'influence de la durée se traduit par un abaissement

de la charge de rupture compensé par une déformation finale plus considérable.

C'est d'ailleurs dans le même sens que se manifeste la différence de texture (par exemple : suivant la section du câble), de sorte que le travail de déformation présente des fluctuations moins considérables que la charge de rupture et constitue la base d'appréciation la plus rationnelle de la solidité du câble.

Cette conclusion subsiste si nous comparons les résultats de nos essais de 1905 avec ceux qu'on obtient au banc d'épreuves de Bruxelles. La comparaison ne peut se faire utilement que sur les câbles neufs; elle donne les moyennes suivantes pour des éprouvettes de 1 mètre de longueur et des câbles à huit aussières.

	MALINES		BRUXELLES	
	Pattes	Enlevages	Pattes	Enlevages
Charge de rupture en ki'og. par centimètre carré	650	569	716	608
Allongement %	10.4	12.3	8.5	9.2
Travail spécifique de déformation en kilogrammètres (1)	27.9	28.9	29.0	29.6

Il est à noter que dans les deux séries d'essais, les résultats individuels s'écartent notablement des valeurs moyennes, par suite de la diversité de texture et de la qualité des matériaux des câbles.

Les différences constatées entre les résultats des deux établissements s'expliquent, étant donné l'écart très consi-

(1) Ce coefficient, obtenu en divisant l'aire du diagramme de déformation par la section, représente la résistance vive de rupture d'une corde de 1 mètre de long et 1 centimètre carré de section.

dérable dans la durée et l'influence des retards d'action des charges. Il est intéressant de rechercher si les variations de durée que l'on peut produire dans l'appareil de Bruxelles en agissant sur la commande de la pompe de pression ont aussi une influence sur les résultats.

Voici quelques observations comparatives sur des câbles usagés.

TABLEAU I.

EPROUVETTES		Durée de l'essai — secondes	Charge de rupture — kg-cm ²	Allongement — %	Travail spécifique — kgm.
A. 1	82 cm ²	50	244	5.0	9.0
A. 2	» »	200	251	6.4	11.50
B. 1	71 »	30	272	5.0	8.2
B. 2		180	272	4.9	8.5
C. 1	54 »	40	509	3.6	11.0
C. 2	» »	40	509	5.0	13.0
C. 3	» »	240	555	5.0	14.0
K. 13	83 »	540	614	4.8	15.1
K. 15	85.1 »	70	493	4.6	13.3
K. 16	85.8 »	281	434	3.2	8.5
K. 17	86.1 »	70	497	4.6	13.2
K. 18	85.4 »	755	537	5.1	14.9
K. 20	85.8 »	92	466	6.0	15.1
Moyennes		56 366	427 444	4.8 4.9	11.8 12.1

Ces résultats se rapportent à des câbles secs.

En voici d'autres relatifs à des câbles humides.

TABLEAU II.

Cables essayés — Plats en aloès de 250×34 ^m /m	Conditions dans lesquelles l'essai a été effectué	Charge de rupture — en kil. g.	Résistance par cent. carrés
No 1	Etat de service Vitesse : 175 ^m /m	43,500	6.24
	(1) Etat humide Vitesse : 175 ^m /m	46,000	6.61
	(1) Etat humide Vitesse : 45 ^m /m	41,000	5.85
No 2	Etat de service Vitesse : 175 ^m /m	38,000	5.45
	(1) Etat humide Vitesse : 175 ^m /m	47,000	6.74
	(1) Etat humide Vitesse : 45 ^m /m	46,000	6.61

Bien que la vitesse ait varié dans ces expériences dans le rapport de 1 à 6.5, son influence ne s'est pas manifestée d'une façon bien nette. Sauf une exception, les résultats des éprouvettes du tableau I sont plus avantageux dans la marche lente, tandis que c'est le contraire pour les essais cités au tableau II; mais les différences sont peu appréciables et le nombre d'observations est insuffisant pour discerner l'influence de la conduite de l'essai de celle propre aux éprouvettes. Il semble admissible, d'après cela, que les variations accidentelles dans la vitesse de marche de la pompe n'ont qu'un effet négligeable.

(1) L'état humide a été obtenu par un séjour de 24 heures dans l'eau.
La vitesse est celle du déplacement du chariot portant l'amarre mobile.

c) *Influence de la tension de dressage.* — Cette influence est notable. Avant l'essai, il est nécessaire de tendre le câble — et quelquefois assez fortement, lorsqu'il est gauchi ou plissé — afin de placer avec précision les repères destinés à la mesure des allongements. Dans nos essais de Malines, cette tension était donnée par un poids constant et elle variait suivant la section des éprouvettes entre 20 et 30 kilogr. par centimètre carré; elle était maintenue au même taux pendant une minute ou deux, le second repère étant fixé lorsqu'il ne se manifestait plus d'allongement. On continuait ensuite l'application des charges. A Bruxelles, la commande ayant lieu par pompe et non plus par accumulateur, il n'est pas possible de maintenir la pression à un taux constant. On donne au câble une certaine tension, d'abord par le déplacement du chariot portant l'amarre mobile, puis une tension plus forte à l'aide de la pompe. On laisse tomber la pression, on fixe les repères, on reprend l'essai. Dans la première méthode, on fait abstraction de l'allongement total correspondant à la tension de dressage; dans la deuxième méthode, on supprime des mesures tout l'allongement permanent correspondant à la tension de dressage, plus une partie de l'allongement élastique masquée par les résistances passives de l'appareil. On a admis à Bruxelles une tension initiale beaucoup plus élevée que dans nos essais de 1905. Après quelques tâtonnements, on s'est arrêté en principe au chiffre de 100 kilogr. par centimètre carré, mais on le dépasse parfois si la pompe n'est pas arrêtée à temps.

On s'en rend compte immédiatement à l'inspection du diagramme de déformation; celui-ci débute par une ligne se confondant presque avec l'horizontale, puis il s'élève d'une façon très nette lorsqu'on arrive à la tension de dressage. La quantité dont il s'élève en-deçà de cette tension est un indice de l'élasticité du câble. Nous reproduisons ici

quelques diagrammes qui mettent ce phénomène en évidence (fig. 6 et suivantes).

Le seul résultat qui en soit affecté, c'est la mesure des allongements; l'erreur relative peut être très considérable surtout pour des câbles n'ayant plus une grande résistance: 1° parce que la tension de dressage atteint le tiers et même plus de la charge de rupture; 2° parce que, pour ces câbles, l'allongement est en valeur absolue assez faible.

La connaissance des deux facteurs, charge de rupture

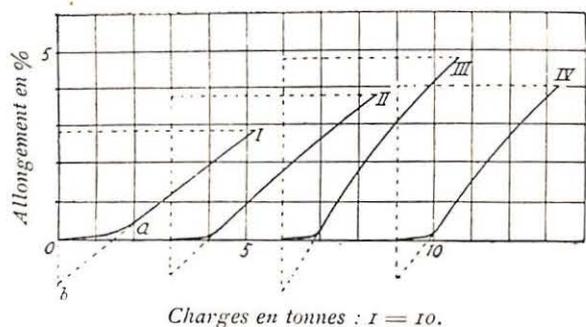


Fig. 6.

Essais comparatifs sur pattes coupées en service.

S = 77 cent. carrés. — I et II, câbles secs; III et IV, câbles humides.

et allongement, ne donne donc dans un cas semblable qu'une idée très inexacte de la valeur du câble. Mais ici aussi la valeur du travail spécifique de déformation fournira une base d'appréciation, car elle sera beaucoup moins entachée d'erreur qu'on ne pourrait le croire à première vue. Le rapport de l'aire comprise entre la courbe et l'axe des allongements au rectangle des ordonnées extrêmes, c'est-à-dire le *coefficient de remplissage* du diagramme, est beaucoup plus élevé lorsque la tension de dressage a été forte; il atteint 0.60 à 0.70 tandis qu'il reste compris entre 0.40 et 0.50 lorsque la tension de dressage est très

faible; en même temps, dans ce dernier cas, la courbure de la ligne de charge est plus accentuée et plus continue.

Il est possible de rendre à l'essai dans une certaine mesure sa véritable signification par une extrapolation. Ainsi dans les diagrammes de la figure 6 et le diagramme n° 7 de la figure 7, on peut admettre que l'allongement doit être augmenté de la quantité Ob , et l'aire de déformation, du triangle Oab (1).

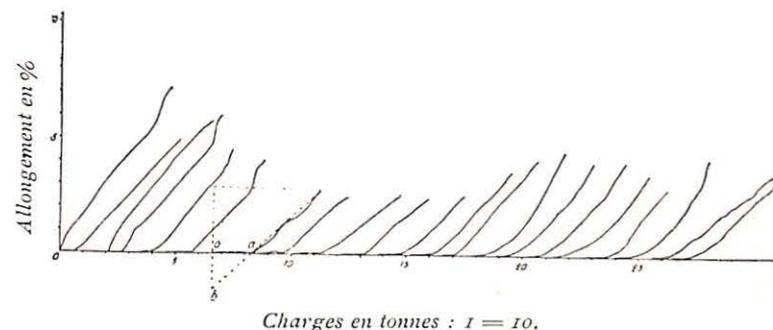


Fig. 7.

Puits d'entrée d'air.

Essais sur pattes coupées périodiquement; nos 1 à 18: $s = 77$ cent. carrés.

Essais sur enlevages hors service; nos 19 à 21, $s = 108$ cent. carrés.

L'importance de cette correction ressort du tableau n° III ci-après.

(1) Cette correction ne donne encore qu'une approximation par défaut. Voir pour la justification les remarques relatives au coefficient d'extension des câbles dans notre mémoire de 1905.

TABLEAU III.

EPROUVETTES	Tension de dressage par cent. carré	CHARGE DE RUPTURE		ALLONGEMENT			TRAVAIL DE DÉFORMATION		
		Totale	par cent. carré	Observé	Corrigé	Erreur relative %	Observé	Corrigé	Erreur relative %
No 1, sec . .	Kil. 200	Tonnes 52	675	2.8	3.9	39	11.8	13.0	11
» 2, » . .	136	55	714	3.8	4.6	21	16.3	17.0	4
» 3, humide .	104	46	600	4.7	6.0	28	15.0	15.8	5
» 4, » . .	100	43	558	4.0	4.8	20	13.0	13.5	4
» 7, sec . .	202	47.5	565	2.8	4.4	57	11.2	12.8	14

Nous donnons ces chiffres à titre d'indication sur l'ordre de grandeur des erreurs que l'on peut commettre. Il sera le plus généralement impossible de corriger avec assez d'exactitude les résultats d'un essai lorsque l'incurvation du diagramme sera très prononcée ou discontinue. Ces exemples ont néanmoins cette utilité de montrer une fois de plus que la mesure du travail spécifique de déformation est la moins affectée par les conditions de l'essai et qu'elle constitue la meilleure marque de qualité des câbles.

Une autre conclusion s'impose à notre avis. Il est préférable, pour éviter toute discussion sur la valeur de l'essai, que la tension de dressage soit assez faible.

En pratique, le câble est toujours maintenu sous tension par le poids de la cage et des wagonnets vides, soit 50 à 55 % de la charge normale et, par conséquent, au plus 1/12^e de la charge de rupture.

Il est sans intérêt de connaître l'allongement du câble entre la tension nulle et la tension du poids mort, mais il importe au contraire de connaître les propriétés du câble

dans les conditions de service. D'après ces considérations, une tension de dressage de 40 à 50 kilogrammes par centimètre carré paraît largement suffisante.

d) *Influence de l'humidité.* — L'état d'humidité des éprouvettes a une influence qui jusqu'ici n'a pas encore été nettement établie. Il y a d'ailleurs une difficulté réelle à faire des essais absolument comparables sur des matériaux de qualité aussi variable que les câbles de mine et la solution de la question demande un grand nombre d'expériences. L'état d'humidité ou de sécheresse est aussi affaire d'appréciation; il devrait être défini, par exemple, par pesée des échantillons. Des expériences dans ces conditions faisant jusqu'ici défaut, nous en avons effectué un certain nombre en cherchant à les rendre aussi comparables que possibles. Nous croyons utile de consigner ici les résultats de quelques essais antérieurs, entr'autres ceux qui sont cités dans les rapports de l'Association des Industriels de Belgique.

Pour rappel, les essais auxquels nous avons procédé en 1905, n'ont montré aucune influence de l'humidité sur la charge de rupture, mais une influence sur l'allongement en ce sens que les cas où la déformation était plus grande pour les câbles humides ont été les plus nombreux; la déformation élastique a été trouvée indépendante de l'état d'humidité.

Quelques essais ont été faits à Bruxelles sur des bouts de câbles en service; ils sont repris au tableau n° III et représentés par la figure 6: les n°s 1 et 2 étaient secs, les n°s 3 et 4 avaient été arrosés au moment de l'essai. On voit que pour ces derniers, les allongements ont été plus forts, les charges de rupture plus faibles que pour les premiers, le travail spécifique de déformation a sensiblement la même valeur moyenne.

Des éprouvettes coupées par paires en plusieurs points d'un câble, les unes séchées au soleil, les autres, imprégnées d'humidité par des arrosages fréquents, ont donné les résultats suivants :

TABLEAU IV.

Dimensions en m/m	ETAT SEC			ETAT HUMIDE			Gain sur la résistance %
	Charge de rupture en kos	Allongement %	Temps	Charge de rupture en kos	Allongement %	Temps	
212 × 34	30,500	2.9	0'52"	39,000	5.2	1'18"	28
300 × 40	45,500	3.7	0'49"	68,000	5.4	1'23"	50
221 × 37	22,000	3.6	0'47"	41,000	5.8	1'10"	86
188 × 35	22,000	4.2	0'57"	31,500	6.4	1'1"	43

La supériorité des éprouvettes humides est tellement forte qu'il est permis de se demander si le résultat ne doit pas être également attribué à quelque autre circonstance.

D'autres essais comparatifs ont été faits sur des éprouvettes prélevées par paires dans un tronçon d'un même câble, d'une part, au banc d'épreuves de Bruxelles, d'autre part, au banc de la Compagnie des Mines de Béthune (Pas-de-Calais).

En voici les résultats :

TABLEAU V.

Repères des éprouvettes Section 125 5 cent. ²	Conditions dans lesquelles l'essai a été effectué	Charge de rupture en Kg.	Résistance par centim. carré	Allongement %
Bruxelles 1	Vitesse : 175m/m Etat humide de service	71,500	5.77	8.3
Béthune 2	Vitesse : 80m/m Etat humide de service	64,235	5.60	—
Bruxelles 3	Vitesse : 45m/m Etat humide de service	61,000	4.67	9.1
Béthune 4	Vitesse : 10m/m Etat humide de service	59,000	4.70	—
Bruxelles 5	Vitesse : 45m/m Etat humide de service	63,500	4.98	8.9
Béthune 6	Vitesse : 30m/m Trempe dans l'eau pendant 48 heures	56,925	4.84	5.5
Bruxelles 7	Vitesse : 175m/m Séché au soleil 48 heures	63,500	5.06	7.3
Béthune 8	Vitesse : 39m/m Séché sur conduite de vapeur pendant 48 heures	39,595	3.15	3.7

Les quatre premiers essais sont concordants autant qu'on peut le souhaiter de deux appareils de constructions différentes. L'essai n° 6 comparé à l'essai n° 5 tendrait à prouver qu'une inhibition prolongée est nuisible et l'essai n° 8, par contre, qu'une dessiccation artificielle outrée a détruit la cohésion des fibres.

En résumé, ces essais ne sont ni assez méthodiques, ni assez nombreux, pour qu'on puisse en tirer quelque conclusion.

Nous avons repris l'étude de cette question en essayant des éprouvettes prélevées :

a) Sur des bouts de pattes coupées en service et assez longs pour fournir deux essais ;

b) Sur des tronçons d'assez grande longueur pris dans la patte de section uniforme, de câbles profilés d'après le système Vertongen.

On peut objecter aux essais sur les premières éprouvettes (*R*, *X*, *Y*), que la texture et la résistance du câble peuvent différer fortement suivant que le bout essayé se trouvait ou non immédiatement après l'attache de la cage, et il n'est pas certain que les résultats eussent été inverses si l'on avait mouillé les éprouvettes de rang impair, au lieu de celles de rang pair. Aussi avons-nous jugé inutile de poursuivre les expériences dans cette voie. Pour éliminer la cause d'erreur, il faut multiplier les observations sur un même câble dont toutes les parties soient sensiblement dans le même état de conservation. C'est ce qu'on a fait pour les câbles *M* et *K*. L'échantillon *M* est resté un mois en rouleau dans un magasin sec ; il a été découpé en seize parties égales de 2^m50 de longueur, numérotées à partir d'une extrémité et pesées. Les bouts de rang impair ont été séchés par exposition sur chevalet pendant deux jours, à proximité d'un foyer ; les bouts de rang pair ont été soumis pendant deux jours à des arrosages répétés d'une durée d'une demi-heure. Le câble *K* a fourni quatre séries d'éprouvettes. Les premières (*K*) ont été séchées comme il vient d'être dit, les autres (*Ka*) ont été plongées dans une citerne pendant quarante-huit heures ; les nos 2 et 8 sont restées immergées deux heures seulement ; à raison de la quantité d'eau absorbée, le n° 8 a été rangée avec les précédentes, le n° 2, avec la troisième série ; dans celle-ci, les éprouvettes ont été soumises à un arrosage de quelques minutes sur chaque face. Les essais ont eu lieu pour toutes les éprouvettes après un égouttage de une heure ou deux. Enfin, une quatrième série, *Kc*, a été soumise aux essais dans l'état où elle se trouvait en magasin.

Pour déterminer le degré de saturation d'eau, les pesées ont été faites à nouveau au moment de l'essai.

Les résultats en sont donnés dans le tableau VI.

TABLEAU VI.

Numéros	Au découpage kilog.	Après dessiccation kilog.	Perte en poids kilog.	Après arrosage kilog.	Gain en poids kilog.
M. 1	17.100	16.900	0.200		
2	17.150			21.800	4.650
3	18.500	17.600	0.900		
4	18.400			22.300	3.900
5	18.500	17.900	0.600		
6	18.750			22.200	3.450
7	18.700	17.990	0.710		
8	18.650			22.150	3.500
9	18.550	18.000	0.550		
10	18.650			22.300	3.650
11	18.800	18.250	0.550		
12	19.050			22.700	3.650
13	19.050	18.600	0.450		
14	19.100			22.600	3.500
15	19.150	18.600	0.550		
16	18.650			23.000	4.350
Moyennes M	18.520	17.975	0.565	22.380	3.840
K. 3					
6					
9	21.270	20.81	0.460	—	—
12					
Ka. 1					
4					
7	21.320	—	—	25.620	4.300
8					
10					
Kb. 2					
8					
11	21.410	—	—	23.570	2.160
14					
19					

Sauf pour les câbles mouillés par aspersion de courte durée, l'état de dessiccation ou d'humidité des éprouvettes de chaque série est assez uniforme. La différence de poids entre les câbles secs et les câbles fort humides (séries *M*, *K* et *Ka*) est de 24 %. Cette différence n'est que de 13 % pour les câbles arrosés à la lance. Il est douteux que l'arrosage, tel qu'on le pratique en été sur les câbles en service dans les puits secs ait pour résultat une absorption d'eau plus grande que le dernier chiffre constaté.

Les tableaux VII et VIII donnent les résultats des mesures de résistance.

Les essais ont été conduits de la manière la plus uniforme possible; la tension de dressage a été de 50 kilogrammes par centimètre carré de section. Les diagrammes des essais *M* sont reproduits figure 10 ci-après.

TABLEAU VII. — Essais sur des câbles secs.

EPROUVETTES	Section en centimètres carrés	Poids par mètre court Kilog	Densité	Durée de l'essai	Charge de rupture		Allongement %	Résistance vive de rupture	
					Totale Tonnes	Kilog. par centimètre carré		Totale	par centimètre carré
X Nos 1 6 auss ères	82.2	6.80	0.825	85"	44.6	544	6.3	1,260	15.3
R 1 8 »	76.0	6.30	0.830	94"	36.8	484	7.0	1,225	16.1
Y 1 »	80	7.44	0.930	65"	34.6	432	5.8	1,040	13.0
M 1 »	71.4	6.76	0.947	67"	33.0	462	6.0	1,046	14.6
3	72.1	7.04	0.976	67"	35.8	492	5.8	950	13.1
5	74.2	7.16	0.965	90"	39.2	528	6.2	1,080	14.6
7	73.1	7.20	0.985	70"	38.0	520	6.4	1,088	14.9
9	74.2	7.20	0.965	60"	34.7	468	5.6	980	13.2
11	76.7	7.30	0.952	72"	38.3	500	7.0	1,205	15.7
13	76.3	7.44	0.975	73"	40.0	524	7.4	1,467	19.2
15	76.0	7.44	0.979	72"	36.7	483	6.0	1,000	13.2
Moyennes M . . .	74.3	7.20	0.965	71"4	37.0	496	6.3	1,102	14.8
K 3	88.6	8.44	0.953	65"	45	507	5.6	1,325	15.0
6	84.2	8.32	0.988	68"	42.6	506	5.2	1,246	14.9
9	86.1	8.29	0.963	63"	40.8	474	5.6	1,325	15.4
12	81.8	8.24	1.007	60"	40.8	499	4.0	945	11.5
Moyennes K	85.23	8.32	0.977	64"	42.3	496	5.1	1,209	14.2
Kc 13.	83.0	8.54	1.029	540"	51	614	4.8	1,256	15.1
15.	85.1	8.50	0.999	70"	42	493	4.6	1,132	13.3
16.	85.8	8.54	0.996	281"	37.2	434	3.2	731	8.5
17.	86.1	8.52	0.990	70"	42.8	497	4.6	1,145	13.2
18.	85.4	8.44	0.988	755"	45.9	537	5.1	1,272	14.9
20.	85.8	8.53	0.995	92"	40.0	466	6.0	1,296	15.1
Moyennes Kc . . .	85.2	8.51	0.999	77"	43.2	506	4.7	1,139	13.7

TABLEAU VIII. — Essais sur des câbles humides.

EPROUVETTES	Section en centimètres carrés	Poids par mètre court Kilog.	Densité	Durée de l'essai	Charge de rupture		Allongement %	Résistance vive de rupture	
					T. tale Tonnes	Kilog. par centimètre carré		Totale	par centimètre carré
X Nos 2 6 aussières	86.2	8.80	1.020	108"	42.0	487	9.3	2,240	26.0
R 2 8 »	80.0	8.50	1.062	135"	39.3	491	8.3	1,390	17.4
Y 2 »	83.5	9.64	1.156	90"	35.5	426	6.6	1,243	15.0
M									
2 »	77.8	8.72	1.120	82"	32.1	412	7.0	1,122	14.4
4 »	79.5	8.92	1.122	93"	33.5	422	8.0	1,392	17.5
6 »	79.5	8.88	1.117	88"	33.0	415	8.0	1,368	17.2
8 »	79.8	8.86	1.111	88"	32.0	401	7.6	1,240	15.5
10 »	79.5	8.92	1.122	92"	34.8	438	7.8	1,332	16.8
12 »	85.0	9.08	1.068	105"	35.8	421	8.6	1,450	17.0
14 »	81.4	9.04	1.109	110"	35.0	430	8.0	1,460	17.9
16 »	81.6	9.20	1.128	100"	31.8	390	7.2	1,185	14.5
Moyennes M.	80.5	8.95	1.112	95"	33.50	416	7.8	1,319	16.4
Ka									
1	96.0	10.68	1.112	102"	43.0	448	7.2	1,558	16.2
4	95.0	10.48	1.103	97"	39.3	414	6.6	1,290	13.6
7	92.2	10.36	1.123	103"	39.4	426	6.2	1,231	13.4
8	89.3	9.88	1.106	—	41.0	459	6.7	1,462	16.4
10	92.6	10.12	1.093	105"	39.8	428	6.2	1,276	13.8
Moyennes Ka	93.2	10.30	1.106	102"	40.5	435	6.6	1,364	14.7
Kb									
2	93.8	10.04	1.070	—	51.0	544	7.6	1,910	20.4
5	91.0	9.44	1.037	95"	45.0	494	7.2	1,656	18.2
11	88.2	9.24	1.046	110"	44.5	500	6.8	1,680	19.0
14	88.9	9.24	1.039	85"	43.5	490	5.0	1,034	11.6
19	95.0	9.20	0.980	105"	38.5	405	6.7	1,418	15.2
Moyennes Kb	91.4	9.45	1.036	100"	44.3	486	6.9	1,539	16.8

Observations. — Les sections ont été mesurées sous tension dans le banc d'épreuves et nous en avons déduit les densités apparentes.

La densité des câbles *X* et *R* est nettement inférieure à celle des autres, ce qu'on ne peut attribuer qu'à la différence de texture, car les éprouvettes d'une même série ont une densité sensiblement constante (l'écart du minimum au maximum n'est que 5 %).

L'humidité produit un gonflement des fibres qui se traduit par une augmentation de 8 % sur la mesure de la section apparente. C'est toujours à cette dernière que sont rapportés la charge de rupture et le travail spécifique de déformation par centimètre carré. Un autre effet de l'humidité, c'est la contraction longitudinale; elle n'a pas été déterminée dans l'espèce, mais d'après des essais antérieurs, elle est de 2 %.

La comparaison des résistances absolues suffit pour rendre compte des variations introduites par l'humidité, si l'on ne tient pas compte de l'augmentation de section. Nous avons cru en outre intéressant de rapporter la résistance à l'unité de poids du câble.

Comme toujours dans les essais de câbles usagés, certains résultats s'écartent assez fortement des valeurs moyennes, sans qu'on soit autorisé à les considérer comme aberrants; la moyenne générale a donc été établie en tenant compte de toutes les expériences dont nous disposons. Mais il est juste de remarquer qu'en ce qui concerne spécialement tous les câbles *M*, et ceux des séries *K* et *Ka*, c'est-à-dire les câbles fortement mouillés d'une part, les câbles bien desséchés d'autre part, les expériences sont exactement comparables et les résultats sont remarquablement concordants, les écarts de la moyenne sont de même importance et se présentent avec régularité dans chacune des deux séries d'essais. Il y a donc là un couple de douze

observations ayant plus de poids que les autres et donnant lieu à des conclusions nettes.

Les résultats de ces calculs sont résumés dans le tableau récapitulatif n° IX. La dernière colonne donne les rapports des valeurs trouvées pour les câbles mouillés, comparativement à celles des câbles secs.

TABLEAU IX.

	Câbles secs			Câbles humides			RAPPORTS		
	M 1 à 15	K Kc	Moyennes générales	M 2 à 16	Ka Kb	Moyennes générales	M	K	Moyennes générales
Nombre d'essais . . .	8	10	21	8	10	21	—	—	—
Section en centim. carré .	74.5	85.2	80.3	80.5	92.2	86.5	1.08	1.08	1.08
Poids par mètre courant. K	7.20	8.39	7.72	8.85	9.88	9.40	1.24	1.18	1.21
Densité	0.965	0.986	0.965	1.129	1.072	1.088	1.16	1.09	1.12
Durée de l'essai . . .	71"	—	—	95"	—	—	—	—	—
Charge de rupture totale Tonnes	37.0	42.6	39.9	33.50	42.5	38.6	0.906	1.000	0.97
Id. par cent. carré K.	496	500	497	416	461	446	0.84	0.92	0.90
Rapport au poids du câble	514	508	517	375	430	410	0.73	0.85	0.80
Allongement . . . %	6.3	4.8	5.6	7.7	6.6	7.3	1.22	1.37	1.29
Résistance vive de rupture Km.	1,102	1,167	1,143	1,319	1,450	1,426	1.19	1.24	1.25
Id. par centim. carré	14.8	13.8	14.2	16.4	15.8	16.5	1.11	1.14	1.16
Id. par Kg. de câble	153	139	148	147	147	152	0.96	1.06	1.03

Au point de vue de la répartition des écarts de la valeur moyenne, les résultats des éprouvettes *K* se groupent de la façon suivante :

CHARGE DE RUPTURE.

Minimum : 37.2 tonnes,	1 essai	n° 16.
de 38 à 40 id.	4 essais	n°s 4, 7, 10, 19 (*).
40 à 42 id.	4 id.	8, 9, 12, 20.
42 à 44 id.	5 id.	1, 6, 14, 15, 17.
44 à 46 id.	4 id.	3, 5, 11, 18.
Maximum : 51 id.	2 id.	2, 13.

ALLONGEMENT.

Minimum : 3.3	1 essai	n° 16.
de 4 à 5	4 essais	n°s 12, 13, 15, 17.
5 à 6	5 id.	3, 6, 9, 14, 18.
6 à 7	7 id.	4, 7, 8, 10, 11, 19, 20.
7 à 7.6	3 id.	1, 2, 5.

RÉSISTANCE VIVE.

Minimum : 731,	1 essai	n° 16.
de 900 à 1,000	1 id.	12.
1,000 à 1,200	3 essais	n°s 14, 15, 17.
1,200 à 1,300	7 id.	4, 6, 7, 10, 13, 18, 20.
1,300 à 1,400	2 id.	3, 9.
1,400 à 1,600	3 id.	1, 8, 19.
1,600 à 1,700	2 id.	5, 11.
Maximum : 1,910	1 essai	n° 2.

Enfin les figures n°s 8 et 9 donnent la répartition des écarts dans les deux tronçons de câble. Cette répartition est assez irrégulière dans le câble *K*, ce qui peut tenir à cette cause qu'il avait fait un service plus long et plus intensif que le câble *M*, ensuite à la distribution plus complexe en séries sèches et humides.

L'influence de l'humidité se traduit donc par les faits suivants :

(*) Les chiffres gras désignent les câbles ayant séjourné dans l'eau ; les itali-ques, les câbles arrosés.

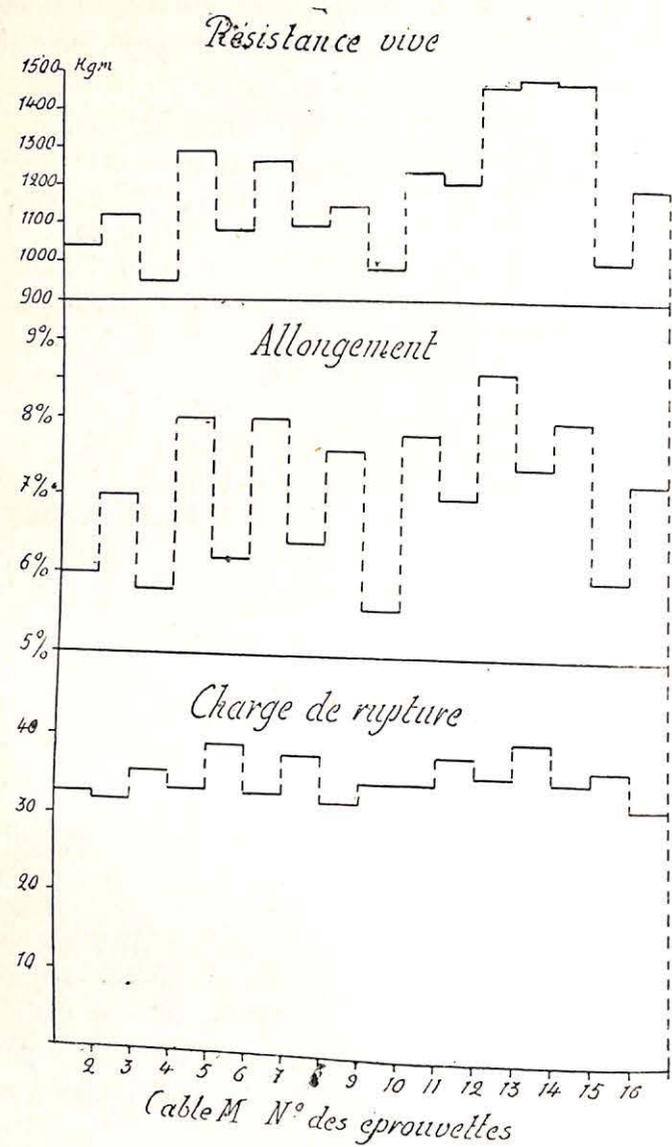


Fig. 8.

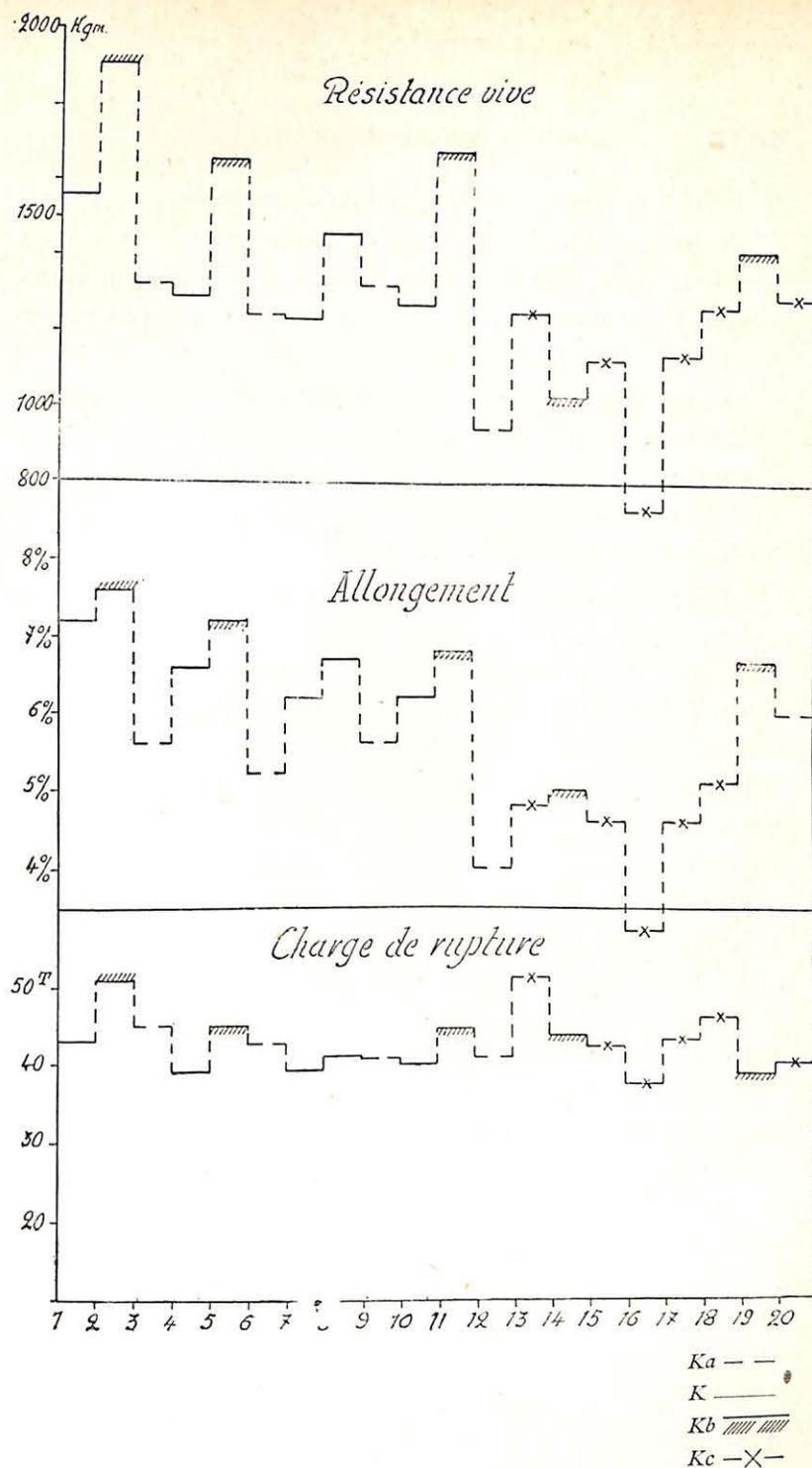


Fig. 9.

1° Si l'on considère les résultats d'ensemble :

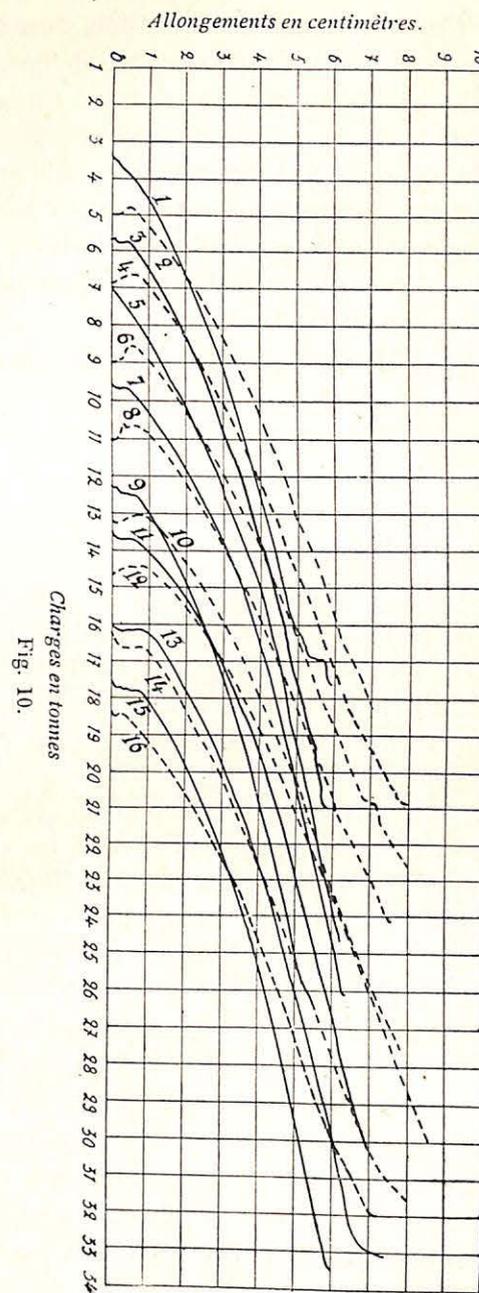
A) *Diminution de la charge de rupture* (3 % en valeur absolue, 10 % sur la résistance par unité de section apparente). Cette influence n'est pas constante et paraît varier avec le degré d'humidité.

B) *Accroissement de l'allongement* (29 % en moyenne). Cette influence est très nette ; elle se manifeste dans toutes les séries d'essais ; toutes les éprouvettes mouillées, sans exception, ont eu des allongements plus forts que les éprouvettes sèches contiguës.

c) *Accroissement de la résistance de rupture* (25 % en valeur absolue, 16 % sur la résistance vive par unité de section). Ce phénomène s'explique par la combinaison des deux précédents. L'accroissement d'allongement est plus considérable que la diminution de charge de rupture. Il y a lieu de remarquer en outre que l'allure de la courbe de déformation est différente (voir les diagrammes d'essais reproduits figure 10) ; pour les câbles mouillés, l'aire représentative du travail est au rectangle des ordonnées extrêmes dans le rapport 0.474, tandis que pour les câbles secs, ce rapport s'élève à 0.500. Ainsi l'humidité a une influence favorable sur l'élasticité de l'aloès. Cet avantage est compensé par une certaine raideur à l'enroulement et par une augmentation de poids. Si l'on envisage spécialement l'effort statique auquel le câble est soumis par son poids propre, on voit par les chiffres du tableau que le câble complètement imprégné d'eau, supposé de section uniforme, se romprait à une longueur de 375 mètres, et à l'état sec, à une longueur de 514 mètres. On sait aussi que pour éviter l'élimination du goudron une humidité exagérée est à déconseiller.

2° Si l'on considère séparément les diverses séries d'essais :

A) Les câbles les plus imprégnés d'humidité (24 % d'eau,



séries M et Ka) ont donné des résultats accusant d'une manière très nette les conclusions précédentes. La diminution de charge de rupture atteint en valeur absolue 10 %, elle est de 16 % par unité de section apparente. Comme on le constate immédiatement à l'inspection du diagramme n° 9, toutes les éprouvettes paires de M ont des charges de rupture inférieures à leurs voisines, de même, si l'on compare les éprouvettes Ka à K . Le diagramme des allongements donne lieu à des constatations analogues.

B) En comparant les valeurs moyennes des densités et celles des charges de rupture, on constate que ces dernières se classent dans l'ordre croissant jusqu'à la série moyenne Kb (câbles arrosés, 12 % d'eau). Cette série donne aussi lieu au maximum des valeurs moyennes de l'allongement et de la résistance vive de rupture ; de plus, les éprouvettes considérées par rapport à leurs voisines dans le câble occupent pour la plupart des maximums. Ainsi il ne serait pas invraisemblable qu'une dose modérée d'humidité réalise les conditions les plus avantageuses pour les câbles en aloès, une trop grande sécheresse ou un excès d'eau étant nuisibles.

C'est une constatation intéressante mais qui demande à être confirmée. Nos recherches ne sont pas assez étendues et il y a précisément dans les deux séries (Kb , Kc) à degré d'humidité intermédiaire, de trop grands écarts entre les résultats pour qu'on puisse considérer cette question comme résolue. Il est à supposer enfin, vu la différence de perméabilité des diverses sections du câble que l'état d'humidité obtenu par une aspersion de courte durée est loin d'être uniforme dans une même éprouvette. On se propose de continuer les expériences au banc d'épreuve de l'Association des industriels en opérant un arrosage méthodique au moyen de quantités d'eau jaugées et en comparant les éprouvettes ainsi traitées avec d'autres contiguës et desséchées.

Dans l'état actuel de nos connaissances, quelle conclusion y a-t-il lieu d'adopter quant à la conduite des essais ?

Il est assez délicat de proposer une règle absolue ; c'est avant tout une question de convention à décider par les intéressés. Il importe seulement que, pour les câbles d'un même puits, les conditions soient uniformes pour toutes les éprouvettes prélevées pour les vérifications périodiques.

On peut sans grande complication soumettre les câbles avant l'essai, soit à la dessiccation, soit à un arrosage. Par l'un ou l'autre procédé suffisamment appliqué, on arrive à des résultats assez uniformes. C'est là un point important et qu'on ne peut garantir pour des états d'humidité intermédiaires. Si l'on désire que l'essai se rapproche des conditions de service, il suffit de peser l'éprouvette à la mine, immédiatement après le coupage, et de faire mention de son poids dans le bulletin d'envoi au banc d'épreuve.

Une pesée de contrôle avant l'essai indiquera comment le câble doit être traité.

Pour déterminer le coefficient de sécurité du câble, les règlements ne mentionnent ordinairement que la charge de rupture. Pour l'application de cette règle, il conviendrait de faire l'essai sur câble mouillé, comme étant le plus rigoureux et conduisant par conséquent à des conclusions plus favorables à la sécurité. Si l'on considère le travail spécifique de rupture, critérium plus rationnel de la qualité du câble, l'épreuve à l'état sec étant la plus rigoureuse, est à conseiller. Un argument à l'appui de cette opinion c'est que, en pratique, par les temps secs en été ou en hiver lors des gelées, l'arrosage du câble en service peut être négligé ou inopérant.

III. Quelques observations sur les essais périodiques des pattes.

a) *Prises d'essai.* — Nous croyons utile de rappeler que l'état d'usure des éprouvettes peut enlever à l'essai toute signification. Ainsi, si l'on veut se rendre compte de la décroissance de résistance du câble par des essais périodiques, il faut prélever les éprouvettes à une certaine distance de l'attache des cages, tout au plus au ras de celle-ci, éviter absolument que des parties ayant subi des pliages fréquents ou endommagées par les pièces d'assemblage viennent à se placer lors de l'essai entre les mâchoires de l'appareil. Il faut aussi autant que possible procéder aux essais à intervalles réguliers.

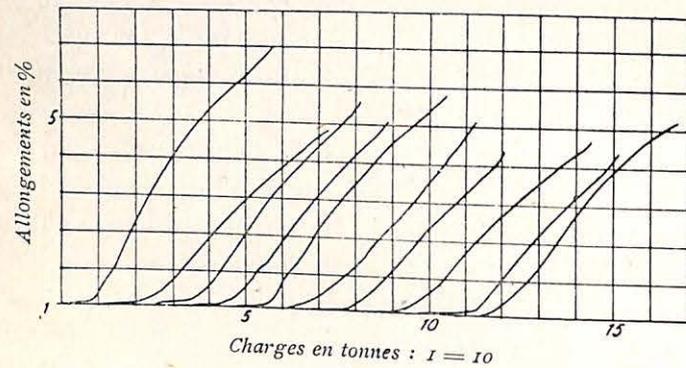


Fig. 11.
Puits d'entrée d'air. — Essais de pattes coupées périodiquement.
s = 80 centimètres carrés.

b) *Décroissance de résistance des câbles.* — Elle est très variable suivant les conditions de fonctionnement ; elle est surtout intéressante à étudier dans chaque cas particulier ; elle conduit à reconnaître certains défauts de l'installation et à y remédier. Pour en donner une idée, nous reproduisons ici une série de diagrammes d'essais périodiques. Dans la figure 7, le premier diagramme se rapporte à un

câble ayant déjà servi neuf mois, les derniers, à la mise en rebut après trente-six mois. La figure 11 montre les résultats des pattes du câble qui a remplacé le précédent, la première ayant été coupée après deux mois de service. Les coupages se font en moyenne au bout de six semaines et sur 3 mètres de longueur.

La figure 12 se rapporte à un câble placé sur un puits de retour fermé par un clapet Briart ; les pattes n° 1 à n° 4 ont été essayées respectivement après vingt, vingt-trois, vingt-quatre et trente-trois mois de service, les coupages ayant lieu tous les deux mois, mais n'étant pas tous suivis

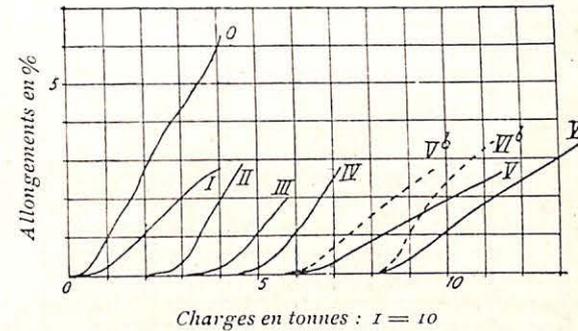


Fig. 12.
Puits de retour d'air. — O, patte état neuf : s = 60 cent. carrés.
Essais nos I à IV sur pattes : s = 72 cent. carrés.
V, section à 500 mètres de hauteur : s = 92 cent. carrés.
VI, — 550 — — — 115 —
VIa - VIb, courbes transformées pour s = 60 cent. carrés.

d'essais. Les éprouvettes nos 5 et 6 ont été prises dans le corps du câble, à l'occasion d'une épissure, à 500 mètres et à 550 mètres de la patte.

L'examen d'un certain nombre de cas semblables confirme certaines remarques d'ordre général déjà connues, mais qu'il n'est pas inutile de rappeler :

1° La décroissance de résistance du câble est plus

rapide sur l'allongement et la résistance vive que sur la charge de rupture ;

2° Cette décroissance, d'abord lente, s'accélère à un moment donné assez fortement ; généralement, c'est au moment où les éprouvettes sont prises dans la partie du câble tangente à la bobine lors de la mise en service.

Nous donnons figures 13 et 14 un exposé graphique de cette loi de décroissance pour les cas repris figures 7 et 12 ;

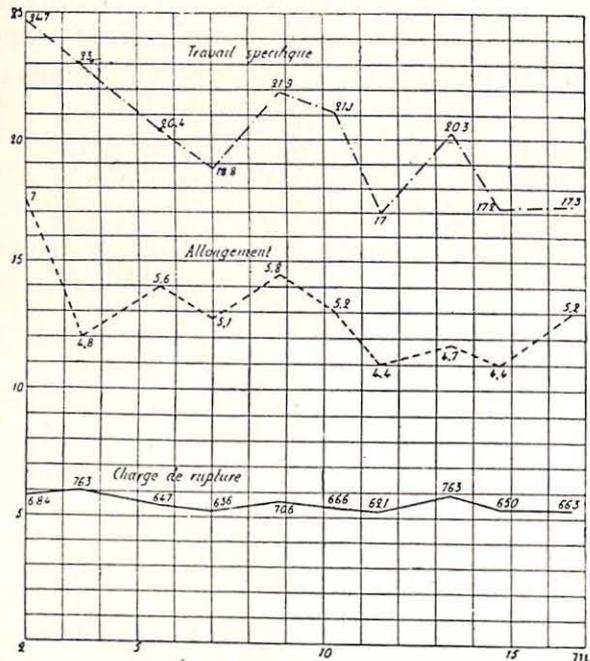


Fig. 13.

3° La diminution d'allongement et de résistance vive est beaucoup plus grande pour les câbles exposés au retour d'air, elle se fait sentir même dans les parties du câble à l'abri de l'influence des démarrages. La plupart des résultats d'essai sur de tels câbles ne renseignent que 2 à 3 % d'allongement.

Pour ces câbles, la décroissance est bien plus une fonction de la durée du service que de l'intensité de l'extraction ;

4° Pour ces raisons, et pour atténuer l'influence des conditions des essais, il importe de tenir note de la valeur de la résistance vive de rupture. On n'accorde pas toujours à cette donnée l'importance qu'elle mérite. La détermination en est très aisée, soit par le planimètre, soit par la

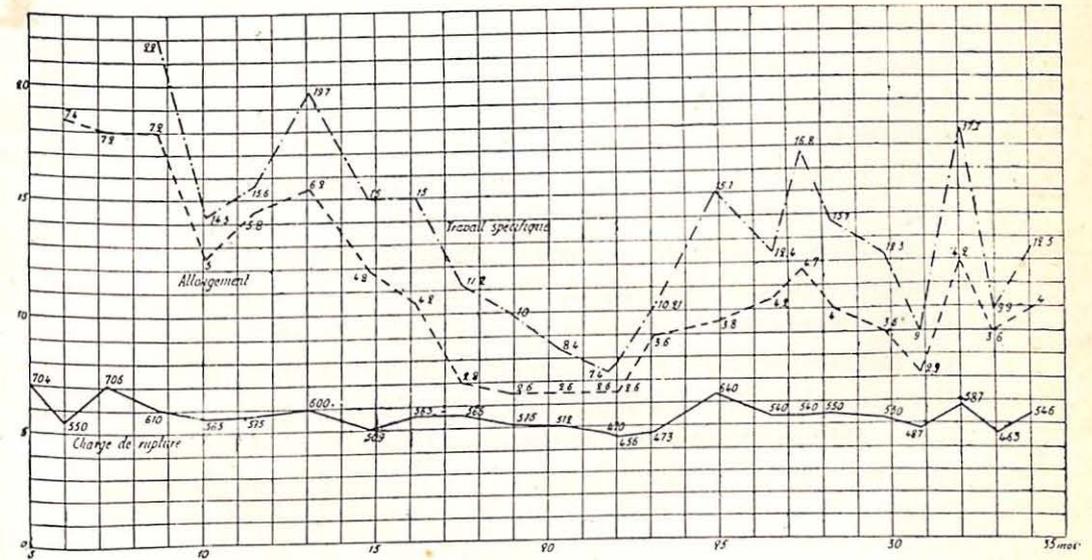


Fig. 14.

décomposition en trapèzes de l'aire du diagramme de déformation ;

5° La limite de la vie du câble est à apprécier dans chaque cas particulier, d'après les conditions spéciales de fatigue auxquelles il est soumis. Indépendamment des indices extérieurs, déchirures, usures, laminage de l'enlèvement, ceux qui font des essais se basent d'ordinaire sur le

coefficient de sécurité que présente le câble d'après les essais de patte. Quelques-uns nous ont renseigné le chiffre de $3 \frac{1}{2}$ fois la charge maximum d'extraction, un plus grand nombre indiquent le coefficient de 4 pour l'extraction ou de 6 pour le personnel. D'autres estiment la limite à une résistance à la patte égale aux $\frac{2}{3}$ de la résistance primitive ; d'autres, au taux de 400 kilogr. par centimètre carré ; d'autres ajoutent la condition de 4 % d'allongement.

D'autres enfin n'attachent aux essais qu'une valeur de contrôle ; ils enlèvent le câble par mesure de précaution, bien que la charge de rupture soit encore très satisfaisante, lorsque la durée du service atteint un certain terme fixé de commun accord avec le cordier, le plus souvent trente à trente-six mois.

Cette manière de procéder est encore la plus prudente dans l'ignorance où l'on est de la section la plus affaiblie et du rapport entre la résistance de cette section et la résistance de la patte. Pour lever l'indétermination, il faudrait recourir à l'essai d'éprouvettes prélevées en divers points assez nombreux sur toute la longueur du câble ou tout au moins dans les régions où des causes spéciales de détérioration sont à prévoir. Cette pratique ne s'est pas introduite jusqu'ici dans les houillères belges ; on ne vérifie d'ordinaire que les deux extrémités du câble et les épissures ;

6° Les essais de câble ont une influence sur la sécurité en ce qu'ils ont pour résultat d'inciter les fabricants à employer des matériaux de bonne qualité et à soigner particulièrement la mise en œuvre. Plusieurs directeurs attribuent à cette circonstance une certaine prolongation de la durée du service des câbles.

IV. Essais des câbles métalliques.

Les essais des câbles métalliques se font d'après deux méthodes : 1° sur les fils, 2° sur le câble entier.

Les essais sur les fils portent : 1° sur les fils destinés à la composition du câble ; ils servent à vérifier si la matière première réunit les conditions imposées dans la commande ; ces sortes d'essais se font chez les fournisseurs ; 2° sur les fils détordus du câble fabriqué, à l'état neuf et périodiquement sur les pattes.

Les coupages ont lieu au bout de quatre à six semaines.

Les épreuves imposées pour les câbles sont : 1° l'essai à la rupture par traction ; 2° l'essai de flexion ; 3° souvent aussi l'essai de torsion.

La charge de rupture ordinairement admise est de 120 à 130 kilogr. par millimètre carré ; on commence cependant à employer des aciers à 150 kilogr. et même à 165 kilogr. On ne spécifie généralement pas le coefficient d'allongement. La résistance du câble est supposée égale à la somme des résistances individuelles des fils qui le composent. On impose un nombre de flexions à 180° sur machoire arrondie de 5 millimètres de rayon et un nombre de torsions à 360° sur 150 millimètres de longueur ; ces nombres sont fixés empiriquement d'après le diamètre des fils et la nature de l'acier employé (exemple : 12 flexions et 30 torsions pour le fil de 2 millimètres, 16 flexions et 60 torsions pour le fil de $1.6^m/m$).

Tous ces essais se font au moyen d'appareils commandés à la main, construits par la firme Tarnogrocki d'Essen-sur-Ruhr. Deux charbonnages seulement possèdent des appareils de ce genre pour leurs essais périodiques ; les autres font éprouver les câbles par l'Association des Industriels de Belgique.

Cette dernière possède un appareil à contre-poids et un autre, plus récent, à traction par vis, muni d'un enregistreur de l'effort et de l'allongement.

On sait que ces appareils donnent des résultats variables, suivant le tour de main de l'opérateur. En vue d'écarter cette influence et aussi de substituer à la détermination empirique du nombre de flexions et de torsions des mesures plus rationnelles, on a recours depuis quelque temps à l'épreuve de torsion combinée avec une certaine tension. L'appareil employé est représenté figure 15.

Le fil est tendu entre deux mâchoires dont l'une est portée par un chariot sollicité par un poids. La tension admise est égale à $1/10^e$ de la charge de rupture du fil. On la fait varier à volonté en déplaçant le poids sur le bras de levier horizontal. Outre le nombre de torsions, on enregistre le couple de torsion engendré par le déplacement d'un poids fixé à un bras de levier vertical. On espère arriver par ces mesures à une base rationnelle de la détermination de la qualité du fil d'acier. Les résultats obtenus jusqu'ici ne sont pas encore assez nombreux pour être concluants.

Les essais à section entière se font au banc d'épreuves avec l'amarrage par coins décrit plus haut ; ils sont aujourd'hui préférés aux essais fil par fil. Quelques charbonnages procèdent aux deux modes de détermination. Dans l'essai au banc d'épreuves, on opère sur éprouvettes de 1 mètre de longueur et on se contente de déterminer la charge de rupture. On n'a pas jusqu'ici trouvé de moyen sûr et pratique d'enregistrer la déformation ; la mesure directe est lente et plus ou moins dangereuse.

Les résultats obtenus conduisent à quelques remarques d'ordre général :

1° La comparaison des charges de rupture par traction sur le câble à section entière et sur les fils conduit toujours à une perte de résistance au câblage ; le déchet varie de 3 à 15 % ;

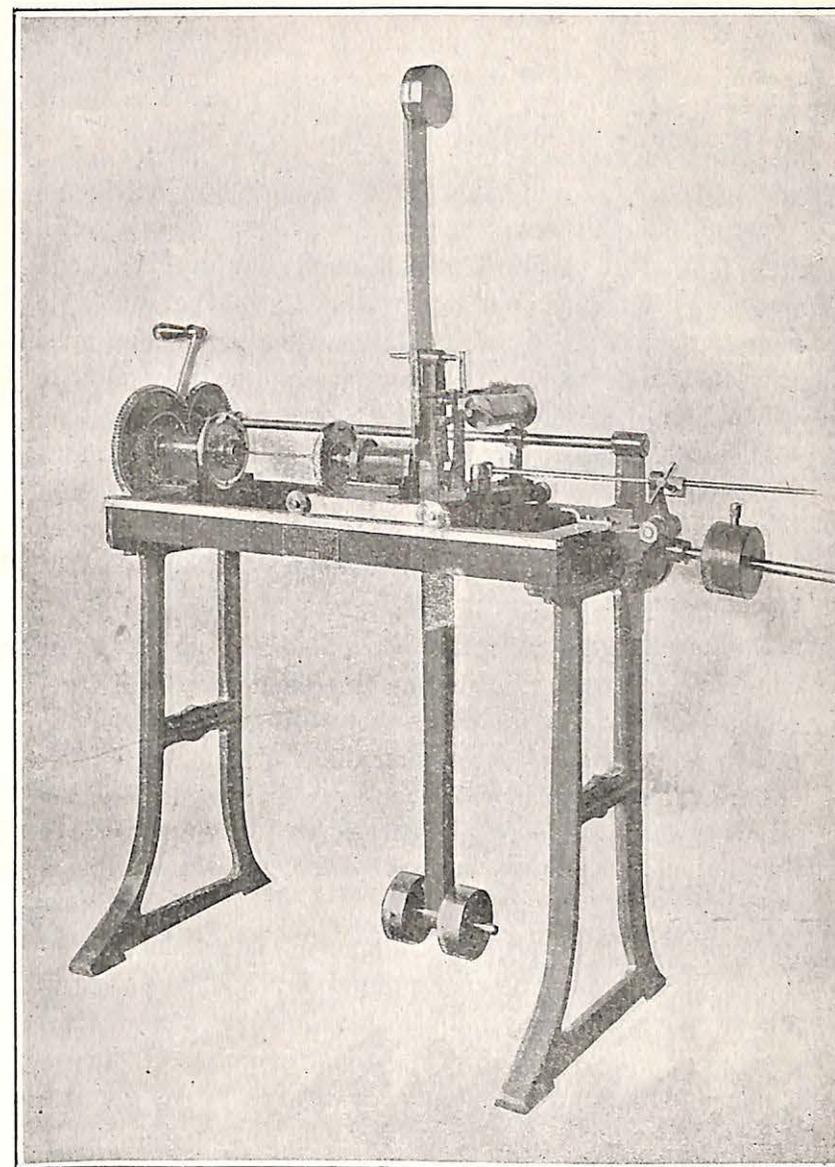


Fig. 15.

2° L'essai sur les fils est surtout utile pour les câbles neufs ; il rend compte de l'homogénéité de la matière première. D'un fil à l'autre, la charge de rupture présente des variations atteignant facilement 10 %. Dans certains cas, on a même constaté des différences plus notables et de même sens pour un assez grand nombre de fils ; il a été reconnu en analysant séparément les fils de chaque toron que l'on avait employé dans la confection du câble deux sortes d'acier, soit par inadvertance, soit par suite de l'épuisement d'un lot d'une des qualités. Des câbles ainsi fabriqués se déforment aisément en pratique par suite de l'inégale répartition des tensions, s'enroulent mal et ne font qu'un service insuffisant. On leur attribue, d'autre part, en totalisant les charges de rupture des fils, une résistance de rupture exagérée. Il importe donc de détordre les torons un à un et même chacune des couvertures dont se compose le toron.

3° La charge de rupture des fils pris sur des bouts coupés à la patte ne diminue en général que très légèrement, même à la fin du service. Un seul charbonnage nous a renseigné des séries complètes d'essais à section entière sur toutes les pattes coupées ; ici la décroissance s'accuse d'une manière plus nette, en dépit de certaines fluctuations, jusqu'à atteindre 15 à 20 % de la résistance initiale.

Nous sommes portés à croire que ce résultat tient essentiellement au mode d'essai. En détordant les torons pour en retirer les fils à essayer, on a de grandes chances de briser ces fils aux endroits usés ou corrodés ; par conséquent, les bouts de 15 à 20 centimètres nécessaires pour l'épreuve seront sains pour la plupart. L'essai à section entière sur 1 mètre de longueur libre est, par contre, influencé par les ruptures de fils, les corrosions et les modifications de texture provenant de l'usage.

En général, pour décider la mise hors service, on se base moins sur les résultats de l'essai de traction que sur l'aspect extérieur du câble, le nombre et la situation des fils usés ou corrodés, l'état des coutures. La diminution du nombre de flexions et de torsions fournit aussi une base d'appréciation, mais il n'existe aucune règle à cet égard ;

4° Comme pour les câbles en aloès, l'essai du câble en diverses sections après la mise hors service est des plus recommandables. A l'appui de cette opinion, nous citerons un cas de variation de résistance réellement instructif constaté à la suite d'une rupture accidentelle. Le câble plat en acier, garanti dix-huit mois pour extraire à 785 mètres de profondeur, s'est rompu à 300 mètres sous l'enlevage, après quatorze mois de service, ayant extrait 121,000 tonnes.

Voici les résultats des essais au banc d'épreuves de Bruxelles :

N° 1 coupé à 3 mètres du point de rupture.	41,500 kilos
N° 2 coupé 20 mètres plus haut	45,500 —
N° 3 Id.	48,000 —
N° 4 Id.	53,000 —
N° 5 Id.	55,500 —
N° 6 coupé 50 mètres plus haut	58,000 —
N° 7 Id.	79,000 —
N° 8 Id.	78,500 —
N° 9 coupé 100 mètres plus haut	105,500 —

La section la plus affaiblie n'a donc plus que 40 % de la résistance du câble à son extrémité. Une telle réduction et la progression remarquable de la résistance à mesure qu'on s'éloigne de la section de rupture ne peuvent guère s'expliquer que par la répétition d'efforts localisés. On sait qu'au premier rang de ceux-ci il faut mettre la marche à contre vapeur ou l'application du frein à la fin de la course. Cette cause paraît bien avoir agi dans le cas présent, car le puits ne présente aucune cause spéciale de détérioration des câbles.

Nous signalerons aussi que, contrairement à l'opinion la plus répandue, ce n'est pas toujours à la patte ou à l'enlevage que se trouve la section dangereuse. D'après une obligeante communication d'un fabricant de câbles, dans une exploitation où l'on vérifie les câbles à leur mise hors de service, on constate régulièrement vers le milieu une diminution de charge de rupture de 10 à 15 %. Il s'agit de câbles ronds, s'enroulant sur tambour, et de profondeurs de 200 à 280 mètres. Un câble plat, faisant l'extraction à 290 mètres, témoigne de deux sections dangereuses, l'une à la patte, l'autre vers 150 mètres, dans lesquelles la charge de rupture est de 17 % moindre qu'à l'enlevage ou dans la région de 50 à 100 mètres.

C'est par l'étude des accidents qu'on arrive à en prévenir le retour. Il est donc désirable que toutes les ruptures de câbles, même en dehors de la translation du personnel, fassent l'objet d'une enquête, qu'on en dresse la statistique et qu'on en publie les causes et les enseignements qu'elles comportent. La statistique des ruptures de câbles rend depuis longtemps les plus grands services en Allemagne et en Autriche ; elle a été introduite en Angleterre, elle le serait utilement dans notre pays.

Résumé. — L'uniformisation des règles suivies pour les essais de câbles est indispensable pour permettre de tirer de ces essais toute leur utilité.

Pour les câbles en aloès, la tension de dressage doit être la plus faible possible ; elle doit être bien définie, ainsi que la longueur, l'état d'humidité des éprouvettes, la durée de l'essai. On observera la charge de rupture, l'allongement, le travail spécifique de déformation.

Pour les câbles en acier, l'essai sur les fils est recommandable à la réception comme contrôle de la matière première et de l'homogénéité du câble. L'essai à section entière est plus concluant en ce qu'il tient compte du com-

mettage, et pour les essais périodiques, de l'usure subie en service.

Il est désirable de poursuivre les recherches des moyens propres à déceler la résistance de vive rupture et la souplesse des câbles métalliques.

Par l'étude plus approfondie des propriétés mécaniques des câbles, on arrivera sans aucun doute à un accroissement de la sécurité dans la translation du personnel et à la solution la plus économique d'un problème que la profondeur croissante des puits et l'intensité de l'extraction rendent toujours plus ardu.

Liège, octobre 1910.
