

Réflexions au sujet des essais de câbles fil par fil

par F. MERCX

Ingénieur civil des Constructions, A. I. Br.
Sous-Directeur de l'Association des Industriels de Belgique.

RESUME

L'auteur présente ici un commentaire de l'article de M. Paul TEISSIER, Ingénieur Civil des Mines, intitulé : « Les essais des câbles fil par fil ». L'étude de M. Teissier a paru dans le périodique « Annales des Mines » (recueil de mémoires et de documents sur les industries des mines et arts et sciences qui s'y rattachent), édité à Paris, page 25 du n° 1 de 1949.

Le but de l'exposé est d'attirer l'attention sur une méthode qui permette de juger la qualité des câbles des mines, à l'état neuf, ainsi que leur état de vétusté, après un certain temps de service, donc de déterminer le moment à partir duquel les câbles sont devenus douteux et doivent être déposés.

C'est en tenant compte de ce but que ce commentaire, d'allure essentiellement pratique, a été rédigé.

Cette étude est composée des divers chapitres ci-après :

Appréciation de l'état des câbles en Belgique.

Utilisation des résultats des essais.

Remarques au sujet du Bergpolizeiverordnung.

Compte rendu de l'article de M. Teissier.

Commentaire de la note de M. Teissier.

Considérations finales.

APPRECIATION DE L'ETAT DES CABLES EN BELGIQUE

La rédaction de la revue citée ci-dessus fait précéder le mémoire de M. TEISSIER d'un avertissement dont nous extrayons le passage suivant :

« Les règlements de sécurité des différents pays n'imposent sur ce point que des opérations d'une efficacité douteuse. Tel est le cas de l'essai global périodique de traction imposé par le règlement français et aussi des règles d'interprétation de l'essai fil à fil, adoptées par le règlement allemand dit de Dortmund. Le contrôleur d'un câble se trouve ainsi dans l'alternative, soit de réformer prématurément le câble qui peut être encore sain, soit de courir le risque d'un accident, son diagnostic comportant la plus large part de sentiment. »

Pas plus que le règlement français et les prescriptions allemandes de Dortmund, l'Arrêté Royal du 10 décembre 1910 sur les voies d'accès, les puits et la circulation du personnel dans les puits, ne donne de précision quant aux moyens efficaces d'apprécier la sécurité des câbles de mines en service.

Effectivement, l'art. 22 stipule qu'un essai de traction doit être fait avant la pose d'un câble et que la tension de ce dernier, sous la charge maximum d'extraction, ne peut dépasser $\frac{1}{8}$ de la tension de rupture pour les câbles métalliques, et le paragraphe 2 de l'art. 43 prescrit la dépose lorsque le coefficient de sécurité descend en dessous de six.

Une circulaire du 13 mai 1917, émanant du Directeur Général des Mines, est venue compléter l'art. 22 de la façon suivante :

« En ce qui concerne tout d'abord la qualité du métal, il est à conseiller de faire procéder non seulement à l'essai du câble sur section entière, tel qu'il est prescrit à l'art. 22 de l'Arrêté Royal du 10 décembre 1910, mais aussi à des essais de traction, de flexion, de torsion, sur un certain nombre de fils prélevés dans l'éprouvette soumise aux essais prévus à cet article, par exemple en essayant tous les fils d'un toron prélevé dans chaque aussière.

» Ces essais fourniront aux visiteurs agréés un élément d'appréciation des plus utiles quant à la régularité, la résistance, l'élasticité et la ductilité du métal employé et les inciteront à exercer une surveillance plus spéciale sur les câbles qui leur sembleraient fabriqués avec un métal de qualité médiocre. »

Les essais effectués au cours de la vie des câbles se pratiquent sur des éprouvettes prélevées à la patte. Or, pour la grande majorité des câbles d'extraction, l'état de cette partie ne reflète pas l'état des câbles sur toute leur longueur.

L'usure peut être plus accentuée sur certaines parties des câbles qui frottent ou battent dans les puits.

La corrosion attaque plus violemment les tronçons qui sont plus particulièrement exposés à l'action de la chaleur humide et des eaux.

Les sollicitations dynamiques font également sentir leur influence. Le point où elles agissent est fonction des constantes de l'installation. Les enlevages sont les endroits où elles acquièrent leur intensité maximum.

Il peut donc y avoir des tronçons plus endommagés que celui de la patte.

Par contre, cette dernière peut souffrir beaucoup plus que le reste du câble par suite des flexions continues qui se produisent, surtout quand les manœuvres d'encagement se font à l'aide de balances et lorsqu'on donne du mou sur le toit de la cage. De plus, il y a des efforts dynamiques importants lors de la reprise du mou.

Dès lors, les résultats des essais pratiqués à la patte ne constituent pas un critère absolu sur lequel les contrôleurs peuvent baser leur jugement.

L'A.I.B. s'en est rendu rapidement compte. Elle donna des instructions à ses inspecteurs pour que des prélèvements de torons fussent effectués dans les câbles plats. Pendant la période d'expérimentation, ce mode opératoire s'avéra tellement efficace qu'il fut systématiquement mis en œuvre dès 1925 (1).

La méthode consiste à prélever, au cours d'une visite spéciale appelée « visite minutieuse », des torons (pour les câbles plats) ou des fils (pour les câbles ronds) en des endroits présumés défectueux ou bien à des intervalles réguliers, comptés à partir de la patte, si aucun endroit du câble ne paraît être particulièrement affecté par les facteurs de vétusté.

Les fils sont essayés à la traction, à la flexion et à la torsion, examinés au point de vue de l'usure, de la corrosion, des indentations et, depuis quelque temps, soumis à l'examen métallographique, afin de se rendre compte de leur état interne et de la texture du métal.

On détermine la moyenne des essais de traction, on la multiplie par le nombre de fils constituant le câble, on diminue le produit d'une quantité (exprimée en %) dite « perte au câblage », dépendant de la composition du câble et déduite d'un nombre considérable d'épreuves effectuées sur éprouvettes entières.

Les résultats fournis par les essais de flexion et de torsion servent de base à l'appréciation de l'état des câbles. Les fils qui donnent des résultats inférieurs à une valeur minimum fixée ne sont pas éliminés pour le calcul de la résistance des câbles, comme le préconisent les prescriptions de Dortmund.

Dans de nombreux cas, la valeur pratique de la méthode de prélèvement de torons ou de fils fut confirmée par des essais effectués sur éprouvettes entières prélevées, après dépose du câble, dans des sections voisines des endroits où des prélèvements de torons ou de fils avaient été faits.

Les contrôleurs ont donc à leur disposition un procédé qui leur permet de déterminer, avec une

précision suffisante, le moment où un câble ne possède plus le coefficient de sécurité minimum réglementaire ou devient dangereux et ce, dans une section quelconque.

UTILISATION DES RESULTATS DES ESSAIS

Les considérations précédentes montrent que notre opinion rejoint celle de M. Teissier quand il dit :

« Nous pensons donc qu'il y aurait intérêt à ce que l'on observe les résultats d'essais fil par fil par les méthodes que nous avons indiquées et nous sommes convaincus que l'on en tirera des renseignements précieux, tant au point de vue du dépistage des câbles mal fabriqués que de la variation de l'état du câble. »

Toutefois, l'usage que nous faisons des résultats des essais est complètement différent des conceptions de M. Teissier.

Ce dernier veut également, au moyen des essais sur fils, se faire une idée de l'homogénéité d'un câble usagé. Or, il y a là une erreur fondamentale qui ne peut, croyons-nous, être passée sous silence.

Les fils usés, corrodés, parfois indentés donnent des résultats très différents. Dès lors, la courbe préconisée par M. Teissier ne donne aucune indication sur l'état réel du câble. Les essais de fils doivent être accompagnés d'un examen physique qui permet de déceler la nature des dégradations. Du point de vue pratique, il ne paraît donc pas indiqué de tracer cette courbe.

Pour ce qui est de l'appréciation de la qualité des câbles neufs, l'établissement de ce diagramme semble être pertinent. Toutefois, il existe des règles plus simples et plus rapides sur lesquelles les réceptionnaires de fils d'acier et de câbles basent leur appréciation.

Ces règles sont :

- 1) Pour les essais de traction :
 - a) Un lot de fils ou un câble est refusé si plus de 10 % des fils donnent des charges de rupture s'écartant de plus de 10 % en plus ou en moins de la moyenne générale déduite de l'ensemble des résultats obtenus;
 - b) On peut encore imposer des charges de rupture limites et prescrire que tous les résultats des essais de traction soient compris dans l'intervalle.
- 2) Pour les essais de flexion et de torsion :
 - a) Un lot de fils ou un câble est refusé si plus de 10 % des fils donnent des nombres de flexions ou de torsions inférieurs de plus de 10 % au nombre imposé par le cahier des charges;
 - b) Une autre règle peut également être admise : Aucun fil d'un même lot ou d'un câble ne peut donner un nombre de flexions ou de torsions inférieur au nombre minimum imposé par le cahier des charges.

(1) Voir Annales des Mines de Belgique, troisième livraison de 1941, p. 641 : « Note sur la méthode du prélèvement des torons dans les câbles plats d'extraction », par Y. VERWILST, I.C.M., Directeur Général de l'A.I.B.

REMARQUES AU SUJET DU BERGPOLIZEIVERORDNUNG

Le règlement allemand exclut de la résistance d'un câble « tout fil dont une caractéristique s'écarte de la caractéristique moyenne de plus de 10 % » (Teissier, chapitre II, littéra A, paragraphe b).

Cette prescription n'est pas logique pour plusieurs raisons.

Nous avons déjà dit pourquoi l'état de l'éprouvette coupée à la patte n'est pas un critère absolu de l'état réel d'un câble sur toute sa longueur.

Aussi longtemps qu'un fil n'est pas brisé, il faut le faire intervenir dans la résistance à la traction : rien ne permet de l'en écarter.

En particulier, s'il fallait négliger les fils dont les torsions sont déficitaires, peu de câbles auraient une durée de service normale. Les praticiens savent que les moyennes de torsion diminuent dès que le câble a fonctionné pendant un temps relativement court. Ce fait est dû à de légères blessures superficielles provoquées par des chocs ou par le frottement réciproque des fils. Elles ne diminuent en rien ni la qualité, ni la sécurité du câble.

De plus, les fils extérieurs sont exposés aux blessures d'ordre mécanique et courent le risque d'être éliminés artificiellement de la résistance du câble parce que leurs résultats d'essais s'écartent de plus de 10 % des moyennes. Or, pour les câbles ronds, les fils extérieurs sont les plus nombreux ou les plus gros.

Pour ces motifs, nous considérons que la prescription du Bergpolizeiverordnung est beaucoup trop sévère.

Signalons, en passant, une autre stipulation du règlement allemand qui interdit d'utiliser, pour les câbles d'extraction, des fils dont l'acier possède une charge de rupture supérieure à 180 kg/mm².

En Belgique, on recourt de plus en plus à des charges de rupture unitaires dépassant 200 kilos/mm², sans aucun inconvénient quant à la durée de service des câbles d'extraction.

Nous croyons utile de donner, ci-dessous, des statistiques à ce sujet :

Au cours des dix premiers mois de 1949, il a été fait, au laboratoire de l'A.I.B., des essais de traction, flexion et torsion, sur 104 lots de fils de 2 mm, avant câblage. La récapitulation en a été faite sous forme de tableau. Chaque lot de fils a reçu un numéro d'ordre.

Nous trouvons 26 lots de fils clairs et 78 de fils galvanisés.

Les lots de fils clairs (tableau 1) comprennent :

1	de 140 — 150	kg/mm ²
1	» 150 — 160	»
1	» 160 — 170	»
8	» 170 — 180	»
5	» 180 — 190	»
7	» 190 — 200	»
2	» 200 — 210	»
1	» 220 — 230	»

Pour les fils galvanisés (tableau 2) :

6	de 140 — 150	kg/mm ²
8	» 150 — 160	»
6	» 160 — 170	»
13	» 170 — 180	»
12	» 180 — 190	»
17	» 190 — 200	»
12	» 200 — 210	»
4	» 210 — 220	»

Remarque : Les lots 25 et 30 ont été galvanisés à chaud.

Soit :

— pour les fils clairs :

16	lots de 180 kg/mm ² et moins ;
10	lots de plus de 180 kg/mm ² .

Ces derniers représentent donc 38,5 % du total.

— pour les fils galvanisés :

33	lots de 180 kg/mm ² et moins ;
45	lots de plus de 180 kg/mm ² .

Ces derniers représentent donc 57,6 % du total.

Les résultats des essais de flexion et de torsion sont remarquables (voir tableaux 1 et 2), tout particulièrement pour ce qui concerne les fils galvanisés dont l'emploi se généralise de plus en plus depuis l'apparition sur le marché des fils dénommés « galvanisés polis ». Cette catégorie représente 75 % de l'ensemble des lots de fils de 2 mm examinés.

Nous bornerons notre commentaire à ces quelques lignes, pour rester dans le cadre tracé.

COMPTE RENDU DE L'ARTICLE DE M. PAUL TEISSIER

I. — But des essais.

D'après la technique actuelle, un tiers des câbles ont une durée normale de service et deux tiers sont enlevés sur avis du personnel de surveillance. Or, aucune règle précise ni aucun règlement ne déterminent le moment où un câble doit être mis hors service.

Dès lors, comme dit l'auteur, « tous les renseignements qui permettraient d'apprécier l'état de vétusté du câble seront des auxiliaires précieux pour leur contrôle ».

Le règlement français — qui impose d'enlever un câble quand, sur un tronçon de 2 m, il y a 10 % de fils brisés et prescrit un essai de rupture sur câble entier lors de chaque coupage de patte — n'est pas de nature à venir en aide, dans tous les cas, au contrôleur de câbles.

Les essais sur tous les fils, imposés par le règlement allemand dit de Dortmund « peuvent donner des renseignements fort intéressants pour apprécier la valeur d'un câble ».

M. Teissier, dans sa note, analyse les résultats de ces essais.

II. — Les documents résultant des essais fil à fil.

L'éprouvette de câble est décablée et détournée. Chaque fil, redressé au marteau de bois, est coupé en trois tronçons pour les essais de traction, flexion et torsion.

1) *Réalisation des essais.*

Les processus de ces trois genres d'épreuves sont décrits succinctement.

2) *Méthode d'examen des résultats d'essais.*

Les résultats obtenus sont notés sur des feuilles ad hoc.

« On se contente généralement d'examiner, soit certains de ces nombres, soit leur total, soit leur moyenne dont l'établissement ne présente pas de difficulté. »

Cependant, il est possible d'analyser de plus près les résultats des essais. M. Teissier préconise le tracé de courbes de fréquence qui permettent « d'étudier la dispersion des résultats de chaque essai » et propose d'établir la courbe en cloche de Laplace-Gauss ou son intégrale, en S.

Une première précaution à prendre est de « choisir convenablement la tranche élémentaire qui servira à déterminer ces points ».

Divers tâtonnements ont permis de fixer les intervalles suivants :

— 20 kg pour les essais de rupture (1.000 - 1.020, 1.020 - 1.040, etc.);

— 5 torsions pour les essais de torsion;

— 1 à 2 flexions pour les essais de flexion.

Le tracé de la courbe en S n'est pas soumis à une telle sujétion.

La note donne les courbes de fréquence relatives aux essais de traction, flexion ou torsion de divers coupages de patte durant la vie d'un câble.

A. — *Essais de traction.*

Ces essais permettent de suivre les variations de plusieurs valeurs :

a) La somme des charges de rupture de tous les fils, généralement donnée par les laboratoires d'essais.

Cette somme « est assez irrégulière et ne permet généralement pas de tirer de conclusions ». Deux graphiques en montrent l'évolution pour deux câbles très différents; la diminution est relativement faible;

b) La capacité de charge du câble, selon les prescriptions du « Bergpolizeiverordnung ».

La capacité de charge du câble est égale à la somme des charges de rupture de tous les fils, diminuée de la charge de rupture des éléments dont une caractéristique s'écarte de la caractéristique moyenne de plus de 10 %.

M. Teissier met en doute l'utilité pratique de la capacité de charge du câble ainsi déterminée;

c) La valeur maximum et la valeur minimum de la charge de rupture observée des fils.

Ces deux nombres n'ont aucune signification;

d) La valeur moyenne des charges de rupture des fils.

Même commentaire que pour le a) ci-dessus;

e) La charge de rupture médiane des fils, c'est-à-dire la charge « qui est dépassée par celle de la moitié des fils ».

Il n'y a pas de commentaire;

f) La charge de rupture maximum, c'est-à-dire

celle qui est obtenue par le plus grand nombre de fils.

Pour l'obtenir, il faut tracer les courbes de fréquence;

g) Les courbes de fréquence de ces valeurs.

Elles « ont une forme voisine de la forme de la courbe en cloche et leur maximum se déplace habituellement lentement vers les charges de rupture plus faibles ».

Certains câbles ont « une courbe à deux bosses » qui subsiste pendant la durée de service : il y a deux qualités de fils.

B. — *Essais de flexion.*

Les essais de flexion donnent lieu généralement aux observations suivantes :

a) Valeur maximum de la flexion qui varie extrêmement peu, mais d'une façon beaucoup plus régulière que les charges de rupture;

b) Valeurs maximum et minimum de la flexion qui ne signifient pas grand'chose;

c) Valeur maximale de la flexion que l'on peut observer d'après les courbes de fréquence;

d) Les courbes de fréquence de la flexion paraissent donner un certain aspect de l'évolution de la fatigue du fil, mais leur variation est généralement très lente et il est rare qu'on puisse en tirer une conclusion.

Les résultats fournis par les essais de gros fils sur mordaches de diamètre trop petit sont « trop faibles pour que leur variation soit suivie avec fruit ».

C. — *Essais de torsion.*

a) Valeur moyenne.

La valeur moyenne « paraît donner une bonne image de l'état de vétusté des fils »;

b) Valeurs maxima et minima.

Aucune signification;

c) Valeur maximale déduite des courbes de fréquence;

d) Courbes de fréquence.

Ces courbes sont extrêmement parlantes.

Le déplacement du maximum vers les valeurs faibles se remarque (on constate également la présence de deux bosses comme pour la traction). On voit aussi « une augmentation rapide des valeurs faibles vers la fin de la vie du câble ».

L'auteur croit que c'est « une indication très nette de l'urgence de la dépose du câble ».

3) *Erreurs de mesure dans les résultats fournis par les essais fil à fil :*

a) Précision des résultats : 10 kg en traction (ou 1 %), une flexion (ou 5 %), une torsion (ou 5 %).

La précision est trop faible quand il s'agit de cinq à sept flexions;

b) Les trois genres d'essais ne se rapportent pas aux mêmes fils, par suite d'une erreur dans l'exécution des essais. On peut éviter cette erreur par une organisation rationnelle des essais;

c) Impossibilité « d'essayer les fils dans le même ordre et les torons dans l'ordre de toronnage ». Il est suggéré « d'introduire dans l'un des to-

rons un fil de résistance assez différente des autres et qui servirait de point de repère » ;

d) Erreurs systématiques.

Deux laboratoires ont donné des résultats différents en traction : 30 à 40 kg, soit 3 %, par suite d'un mauvais réglage de l'appareil de traction.

III. — Les résultats de l'examen, câble par câble.

Il est donné une analyse des résultats des essais effectués sur six câbles.

IV. — Résultats généraux.

- A. « Dans un câble donné et pour un type de fils donné, les résultats d'essais fil à fil se répartissent suivant une courbe en cloche voisine de la courbe Laplace-Gauss. »
- B. L'auteur pense que les variations de résistance à la rupture d'un même fil, d'un coupage à la patte à l'autre, oscillent « autour d'une valeur moyenne, suivant les lois du hasard » et « doivent être du même ordre de grandeur que celle d'un fil neuf en plusieurs de ses points ».
- C. On n'observe pour ainsi dire jamais une baisse notable de la valeur de la résistance à la traction d'un fil. Diverses hypothèses sont émises: câble déposé avant que les fils soient fatigués la résistance d'un fil fatigué ne varie pas, ou bien cette variation est très lente pendant la plus grande partie de la vie du fil et extrêmement rapide avant la rupture. L'auteur admet plutôt cette dernière hypothèse.
- D. Lorsqu'il y a deux qualités de fils dans un même câble, l'écart entre les valeurs moyennes relatives aux caractéristiques des fils se maintient et le phénomène se traduit dans la courbe de fréquence par la présence de deux maxima. L'existence de fils de résistance différente est nuisible à la conservation des câbles, cause des indentations et répartit inégalement les efforts entre les fils par suite d'allongements différents.
- E. « Les fils usés ne paraissent pas présenter une résistance à la traction plus faible puisqu'on n'observe pas l'apparition de fils de résistance anormalement faibles, tandis que les essais de torsion prouvent l'existence de fils blessés. Cela peut tenir, soit à ce que les fils sont déformés, mais non usés, soit à ce que le fil usé par frottement voit se constituer sur sa partie frottante et par écrouissage une pellicule d'acier plus résistante. Cette augmentation locale de résistance compenserait grossièrement la perte de matière. »
- F. Il n'y a pas de relation entre la résistance à la rupture, le nombre des flexions et le nombre des torsions.
- G. Les mordaches de 5 mm ne donnent pas de résultats acceptables. Il faut préférer celles de 10 et de 15 mm.
L'essai de flexion ne donne pas une idée nette de l'état de vétusté du câble.

H. Les nombres de torsions sont révélateurs de l'état de vétusté du câble, bien qu'on objecte que les nombres diminuent considérablement dès que les fils sont déformés.

L'essai de torsion renseigne sur la gravité des blessures des fils.

- I. Les résultats des essais sur câble neuf paraissent différer des résultats fournis par les essais subséquents. Peut-être y a-t-il un léger phénomène d'écrouissage.
- J. Enfin, il semble que dans toutes les lois de dispersion observées, l'écart moyen tende, lors d'essais successifs, tout d'abord à diminuer, comme si les fils avaient tendance à devenir plus semblables les uns aux autres, puis cet écart semble croître, comme si la fatigue faisait apparaître une plus grande dispersion dans les résultats. Nous indiquons que cette observation est plutôt une impression, car il est très difficile, même sur les courbes en S, de mesurer l'écart moyen avec précision.

V. — Conclusions.

L'établissement des courbes Laplace-Gauss peut donner des indications précieuses pour le dépistage des câbles mal fabriqués et sur la variation de l'état des câbles en service.

Quand des essais systématiques auront permis de résoudre plusieurs problèmes théoriques, les examens des résultats d'essais fil par fil permettront de tirer d'autres conclusions.

COMMENTAIRE DE LA NOTE
DE M. TEISSIER

CHAPITRE II.

Les documents résultant des essais fil par fil.

1) Réalisation des essais.

La description de l'essai de flexion est incomplète. Les machines utilisées sont du type normalisé Tarnogrocki. Les diamètres des cylindres de pliage utilisés sont :

5 mm	pour les fils de	0,5 à 1,2 mm
10 mm	» » »	1,3 à 2,3 mm
15 mm	» » »	2,4 à 3 mm
20 mm	» » »	plus de 3 mm

2) Méthode d'examen des résultats d'essais.

Nous avons déjà dit précédemment ce que nous pensions de l'établissement de la courbe en cloche de Laplace-Gauss.

Nous plaçant au point de vue pratique, nous ne sommes pas non plus d'avis de tracer la courbe en S, intégrale de la précédente.

A. — Essais de traction.

- a) L'A.I.B. pratique l'essai de traction sur éprouvette entière et sur fils. Le procès-verbal d'épreuve renseigne la charge de rupture effective du câble et non la somme des charges de rupture des fils élémentaires.
- b) Nous avons dit plus haut pourquoi nous ne sommes pas partisan de la méthode préconisée

par le Bergpolizeiverordnung et n'y reviendrons pas. Comme l'auteur de l'article, nous sommes d'avis que la valeur maximum et la valeur minimum de la charge de rupture n'ont aucune signification par elles-mêmes.

- d) La valeur moyenne de la charge de rupture des fils usagés est exposée à varier sensiblement. Les raisons en ont été données dans la partie de ce commentaire relative au prélèvement de torons et fils (considérations sur l'état de l'éprouvette coupée à la patte).
- e) La variation de la charge de rupture médiane des fils n'a pas de valeur pratique.
- f) Il en est de même de la « charge de rupture maximale ».
- g) Nous avons déjà dit ce que nous pensons des courbes de Laplace-Gauss.

B. — Essais de flexion.

Les essais de flexion sont susceptibles de donner une idée non seulement de la fatigue des fils, mais également de leur état physique.

Lorsqu'on a prélevé des fils au cours d'une visite minutieuse, pendant le service du câble, il est tout indiqué de leur faire subir l'examen métallographique, car ce dernier complète ou confirme les conclusions que l'on peut tirer des essais de flexion.

C. — Essais de torsion.

Les essais de torsion, effectués sur fils neufs, donnent une idée exacte de l'homogénéité et de la régularité d'un lot de fils. Il ne faut pas se borner uniquement à noter les nombres de torsions, mais observer l'allure des hélices produite par la rotation des fils autour de leur axe longitudinal.

Pour un câble en service, nous rappelons que les torsions diminuent relativement vite par rapport aux tractions et flexions et, si l'on devait baser un jugement uniquement sur cet essai, la grande majorité des câbles seraient déposés prématurément.

Il faut accorder, à ce type d'épreuve, une valeur relative et non absolue.

3) Erreurs de mesure.

- a) Nous sommes d'accord pour la traction, mais pas pour les flexions. La précision des machines est suffisante pour tirer des conclusions des résultats obtenus, même s'ils sont de l'ordre de 5 ou 7 ou encore inférieurs.
- b) Les essais de traction, flexion et torsion doivent être pratiqués sur chaque fil, lors de la réception avant fabrication, afin qu'ils permettent un jugement pertinent de la qualité du métal. Ensuite, il faut pouvoir éventuellement éliminer des rouleaux ne donnant pas satisfaction, sans pour cela refuser tout un lot. Pour les éprouvettes prélevées, en cours de fabrication, sur torons et aussières, et, après construction, sur le câble entier, il n'est plus nécessaire de procéder aux trois séries d'essais sur fils repérés. Ici, c'est la loi des grands nombres et les conditions d'homogénéité qui entrent en jeu. Si les résultats sont défectueux, tout le câble doit être refusé car il n'est plus possible d'en extraire les fils de qualité inférieure.

Il n'est pas intéressant non plus de numéroter chaque fil d'une éprouvette de câble en service et de faire les trois séries d'essais sur chaque fil. En effet, ce qui compte avant tout, c'est l'allure d'ensemble des résultats.

La seule discrimination à faire, c'est la répartition des fils en torons et aussières et en couches.

L'exécution des essais fil par fil n'offre aucune difficulté : comme M. Teissier le dit judicieusement, on y arrive par une organisation rationnelle. Cette dernière, malgré tout, cause une perte de temps du fait qu'il faut munir chaque fil d'autant d'étiquettes qu'il y a d'essais à faire et exercer un certain contrôle pour qu'aucune erreur ne se produise. Pareille façon de procéder ralentirait considérablement l'exécution des essais, ce qui est un grave inconvénient pour les laboratoires qui les font dans un but essentiellement pratique. De plus, elle exigerait un accroissement de main-d'œuvre qui grèverait, dans une forte proportion et sans aucune nécessité, le prix des essais, considération dont il y a lieu de tenir compte.

- c) L'introduction, dans l'un des torons, d'un fil de résistance assez différente des autres et qui servirait de repère ne nous paraît pas constituer une mesure efficace, d'autant plus qu'il n'est pas toujours nécessaire d'essayer tous les fils d'un câble pour juger de son homogénéité ou de son état réel.
- d) Il est évident que les machines d'essais des divers laboratoires doivent être normalisées ou comparées, si l'on veut faire un rapprochement entre les résultats obtenus par chacun d'eux. Pour ce qui est de la précision des machines, il est élémentaire que les laboratoires sérieux disposent d'appareils d'étalonnage qui permettent de vérifier, par mesure directe ou comparaison, l'exactitude des indications fournies. N.B. — A notre avis, les erreurs autres que celles dues à l'inexactitude des machines sont fortement, si pas totalement, éliminées par la loi des grands nombres. Nous pensons que l'exactitude des résultats des essais pratiques est obtenue en effectuant un grand nombre d'essais, car ce grand nombre donne une indication meilleure qu'un petit nombre d'épreuves effectuées dans des conditions plus minutieuses.

CHAPITRE IV.

Résultats généraux.

- A. Lorsqu'un câble est constitué de fils homogènes, la courbe de Laplace-Gauss s'inscrit dans une aire très réduite de part et d'autre de l'ordonnée maximum. En pratique, l'aire dont il est question ci-dessus est limitée par l'axe des ordonnées et les deux droites tirées entre le point maximum de la courbe de Laplace-Gauss et les points qui, situés à droite et à gauche de l'ordonnée maximum, représentent les nombres de résultats

s'écartant, en plus et en moins, de 10 % de la moyenne pour l'essai de traction, flexion ou torsion envisagé.

C'est pour ce motif que nous ne sommes pas d'avis de tracer chaque fois les courbes de Laplace-Gauss, dont l'établissement constitue une perte de temps.

- B. L'observation de la variation d'un même fil, d'un coupage à l'autre, présente un intérêt purement théorique.

S'il fallait l'introduire dans la pratique, les essais de fils, répétés à des milliers d'exemplaires, seraient fastidieux et prendraient un temps inadmissible.

- C. Lorsqu'un câble est soigneusement entretenu et que la patte ne se trouve pas soumise à des flexions alternées, la charge de rupture des fils de la patte varie relativement peu pendant la durée du câble. Ce dernier est alors enlevé par suite de détérioration sur un tronçon autre que la patte.

Rappelons que cette constatation a conduit l'A.I.B. à l'adoption de la méthode du prélèvement de torons ou de fils (voir précédemment).

- D. La présence, dans un câble, de fils de qualités différentes n'est pas nécessairement préjudiciable à la bonne durée de service. Par cette remarque, nous visons les fils de remplissage. D'autre part, il ne faut pas non plus s'exagérer les effets dus aux allongements propres aux diverses catégories de fils. L'A.I.B. pratique depuis très longtemps des mesures d'allongement sur une longueur égale à dix fois le diamètre des fils. Les résultats sont de l'ordre de 5 % pour les fils clairs de 161 à 180 kg/mm² et 4 % pour les fils de plus de 180 kg/mm²; pour les fils « galvanisés polis », ces valeurs deviennent 4,5 et 4 % dans les mêmes conditions.

Pratiquement, la différence de 1 % est négligeable. Nous conseillons cependant au lecteur de ne pas généraliser, car il pourrait en résulter des mécomptes si un câble contenait des fils dont les allongements spécifiques étaient trop différents. Emprisons-nous, d'ajouter que ces mécomptes ne sont pas à redouter lorsque les câbles font l'objet d'une réception complète.

Quant aux indentations, elles peuvent parfaitement bien se produire dans un câble dont tous les fils sont de la même classe. Lorsque le câble vient d'être terminé, elles constituent un défaut de fabrication résultant d'un excès de pression causé par la câbleuse. En service, elles peuvent provenir d'un excès de pression dans la gorge des poulies.

- E. La constatation faite par M. Teissier nous étonne parce que nous avons toujours constaté que plus un fil est usé, plus sa charge de rupture diminue. Il n'y a donc pas ou très peu de compensation entre la perte de matière et l'accroissement de résistance dû à l'érouissage. Nous approuvons par contre son opinion que

les essais de torsion prouvent l'existence de fils blessés.

Cependant, nous devons faire à ce sujet une remarque dont l'importance n'échappera à personne.

Au cours d'essais de torsion, nous avons fait, sur certains fils clairs à l'aide d'un canif, un trait imperceptible, perpendiculaire à l'axe des fils. Ces derniers se sont cassés au droit du trait et après un nombre de tours inférieur au minimum exigé pour un bon fil. Il ne faut donc pas conclure que la diminution du nombre des torsions donne un critère de l'importance de la blessure.

En ce qui concerne plus particulièrement les fils galvanisés, les nombres de torsions permettent d'apprécier la régularité de l'opération de galvanisation sur toute la longueur des fils.

Nous en voyons la preuve dans les différences des nombres de torsions que l'on obtient suivant que les fils sont galvanisés à chaud ou si l'on se trouve en face de fils « galvanisés polis ». Les bons fils galvanisés à chaud donnent 27 torsions, dans les conditions d'essai normalisées et lorsqu'ils n'ont subi aucune blessure.

Examinons le tableau 2.

Sauf les lots n° 25 (176 kg/mm²; 8,7 flexions; 23,8 torsions) et n° 30 (180 kg/mm²; 9,6 flexions; 25,3 torsions), qui sont composés de fils en acier galvanisé à chaud, 9 sur 77 ont donné une moyenne générale de torsion inférieure à 30 (norme minimum d'un bon fil clair).

Dans ces 9 lots, 5 ont donné une moyenne comprise entre 29 et 30 et 8 se trouvent dans la classe de 200 kg/mm² et plus.

Or, le fil galvanisé poli subit la galvanisation avant la dernière passe de tréfilage. Cette opération régénère donc le nombre de torsions. Fait digne de remarque, le lot n° 78 (214 kg/mm²) a donné une moyenne de 31,1 torsions.

- F. Qu'il y ait une relation théorique entre les caractéristiques de traction, flexion et torsion, les résultats des essais ne permettent pas de l'affirmer.

Reportons-nous aux tableaux 1 et 2.

Tableau 1.

De 144 à 191 kg/mm², nous constatons que, à une exception près, les flexions sont au moins égales à 11,2 et les torsions, à 31,8.

Pour 192 kg/mm², les nombres minima sont respectivement de 10,2 et 32.

De 198 à 233 kg/mm², les nombres minima sont respectivement de 10 et 26,4.

Tableau 2.

On peut distinguer les classes ci-après :

142 à 183 kg/mm²; flexions minima 10; torsions minima 31.

Exceptions :

en flexion : 5 (dont les 2 lots galvanisés à chaud).

en torsion : 3 (dont les 2 lots galvanisés à chaud).

185 à 199 kg/mm²; flexions minima 9; torsions minima 31.

Exceptions :

en flexion : 0.

en torsion : 0.

185 à 199 kg/mm²; flexions minima 9; torsions minima 29,2.

Exceptions :

en flexion : 0.

en torsion : 1.

De l'ensemble de ces données se dégage une loi : les nombres de flexions et de torsions subissent une diminution suivant certaines classes de résistance.

Faits aussi dignes de remarque :

1) nous observons que les frontières sont presque les mêmes pour les fils clairs et pour les fils galvanisés polis;

2) le minimum de 30 torsions va jusqu'à 214 kg/mm².

Nous pensons que cette loi de décroissance ne se manifesterait plus lorsque de nouveaux progrès seront réalisés dans la fabrication des fils pour câbles métalliques d'extraction.

G. Nous sommes d'accord avec M. Teissier et c'est pourquoi quatre types de cylindres ont été normalisés pour la machine de flexion.

Nous en avons donné les diamètres à la rubrique « réalisation des essais » du chapitre intitulé « Commentaire du chapitre II ».

H. Nous avons déjà dit précédemment ce que nous pensions de l'essai de torsion.

I. Nous n'avons jamais rien remarqué de semblable.

J. Nous n'avons jamais rien remarqué de semblable et sommes du même avis que l'auteur.

CHAPITRE V.

Conclusions.

Nous estimons qu'il faut pratiquer l'essai sur éprouvette entière coupée à la patte et sur les fils qui la composent.

Conjuguées avec des essais et un examen physique et métallographique de torons ou de fils prélevés au cours de visites minutieuses, ces épreuves permettent de juger, de façon pertinente, l'état d'un câble en service.

Nous pensons que le tracé de courbes de Laplace-Gauss et de courbes anamorphosées n'ont aucune utilité pratique, que les câbles soient neufs ou usagés.

CONSIDERATIONS FINALES

Les règlements administratifs et les prescriptions des instances officielles n'imposent aucune règle précise pour la mise hors service des câbles.

En Belgique, comme nous l'avons dit, l'art. 45 de l'Arrêté Royal du 10 décembre 1910 prescrit simplement qu'un câble doit être déposé lorsque le coefficient de sécurité descend en dessous de 6.

TABLEAU 1.
Fils 2 mm clairs.

N° d'essai	N° d'ordre	Tension de rupture kg/mm ²	Moyenne flexions	Moyenne torsions
333	1	144	11,2	33,5
999	2	157	11,5	35,7
604	3	167	13,2	33,2
156	4	173	11,6	33,7
386	5	173	12,6	32,5
24	6	174	11,5	33,4
179	7	177	12,1	31,9
111	8	177	11,4	34,3
167	9	179	11,2	32,6
406	10	179	11,5	34,3
691	11	180	12,2	35,4
13	12	182	11,5	30,4
158	13	184	11	34,8
621	14	189	11,2	33,6
384	15	189	10,8	31,8
427	16	190	11,8	33,9
136	17	191	11,2	29,2
606	18	191	11,2	33,7
876	19	191	11,5	32,8
1051	20	191	11,5	34
176	21	192	10,2	33,1
889	22	192	10,4	32
28	23	198	10,6	29,2
219	24	201	10,8	27,7
391	25	202	10,6	26,4
143	26	223	10	28,2

TABLEAU 2.
Fils 2 mm galvanisés.

N° d'essai	N° d'ordre	Tension de rupture kg/mm ²	Moyenne flexions	Moyenne torsions
900	1	142	11,2	37,7
66	2	143	10,6	36,7
870	3	144	11,6	37,4
448	4	145	11	33,3
1123	5	147	9,9	35,2
633	6	148	11	39,5
1177	7	152	10,8	38,4
1221	8	152	10,9	37,8
1142	9	153	10,8	33,6
973	10	154	11,1	35
165	11	155	9,6	35,4
531	12	155	13,5	37,3
1118	13	155	11	34,4
1047	14	157	9,4	25,9
109	15	161	10,1	33,3
1068	16	161	11,2	35,2
240	17	165	10,8	25,6
1054	18	167	11,1	37
733	19	168	12,7	36
1073	20	168	10,9	33,6
970	21	173	11	33,5
1120	22	174	11,4	35,6

L'initiative privée n'a pas manqué de mettre au point des méthodes permettant d'estimer ce coefficient de sécurité et le degré de vétusté des câbles en un endroit quelconque.

C'est un état de choses favorable car, dans le cas inverse, le cadre dans lequel la mission du contrôleur devrait se cantonner serait trop restreint, entraverait plutôt que de faciliter la tâche de ce dernier et freinerait la recherche et le développement de méthodes rationnelles.

De plus, la responsabilité du contrôleur, en cas de dépose prématurée aussi bien que tardive, se trouve engagée. C'est encore un bien, parce que cette situation impose une vigilance toujours en éveil, stimule les progrès, procure de légitimes satisfactions.

Reportant nos pensées vers Alfred de Vigny, nous pensons que cette responsabilité constitue la grandeur et les servitudes de la prévention des accidents en général.

Fils 2 mm galvanisés.

N° d'essai	N° d'ordre	Tension de rupture kg/mm ²	Moyenne flexions	Moyenne torsions
163	23	175	11,7	40,3
162	24	176	11,1	38,5
628	25	176	8,7	23,8
161	26	177	11,4	37
711	27	178	12,2	58,7
833	28	179	10,2	34,8
713	29	179	12,1	37,3
709	30	180	9,6	25,3
113	31	180	11,6	36,3
639	32	180	10,2	34,1
221	33	180	10,1	33,4
735	34	183	10	31
558	35	183	10	32,8
950	36	185	9,9	31,4
906	37	185	9,6	32,1
1184	38	187	9,9	32,9
198	39	187	9,6	32
935	40	187	10,9	34,2
376	41	189	11	32,4
282	42	189	10,2	33,6
1132	43	190	10,2	32,1
1059	44	190	10,6	31,2
51	45	190	10,6	34
71	46	191	10,1	31,8
901	47	191	9,6	30,1
1048	48	192	10,4	31,8
445	49	193	11	34
576	50	193	10,3	31,8

Fils 2 mm galvanisés.

N° d'essai	N° d'ordre	Tension de rupture kg/mm ²	Moyenne flexions	Moyenne torsions
534	51	193	11,4	33,5
502	52	193	9,8	33,2
1244	53	193	9,3	30,6
1085	54	194	10,5	32,7
1003	55	195	11,5	22,9
327	56	197	9	31
592	57	197	9,7	32,5
141	58	198	9,6	34
440	59	198	9,9	32,7
382	60	198	10,6	31,5
791	61	199	9,5	31,2
187	62	200	9,5	27,3
693	63	201	9,6	29,5
601	64	202	10,3	30,1
580	65	202	10,9	31,8
1250	66	203	9	29,9
263	67	203	10	26,8
688	68	203	9,7	29,6
116	69	205	10,4	30,9
563	70	205	10,6	31,9
959	71	206	9,3	28,4
731	72	207	10,1	30,6
185	73	208	9,8	30,2
857	74	210	9,9	30,6
56	75	211	9,7	29,2
754	76	212	10,6	30,1
184	77	213	9,3	29,2
794	78	214	9,9	31,1

SAMENVATTING

De auteur brengt commentaar uit op de bijdrage van de heer Paul TEISSIER, Burgerlijk mijnings-
 nieur: « De beproeving van kabels draad voor draad ». Deze studie verscheen in de « Annales des Mines » (verzameling van bijdragen en documenten over de mijnijverheid en over de kunsten en wetenschappen die ermede in verband staan) uitgegeven te Parijs, blz 25 van de eerste aflevering van 1949.

Het doel van de uiteenzetting is de aandacht te

vestigen op een methode die zou toelaten te oordelen over de kwaliteit van de ophallkabels in nieuwe staat, evenals over de graad van veroudering na een zekere diensttijd, en zodoende het ogenblik te bepalen waarop de kabels twijfelachtig worden en moeten worden afgelegd.

Huidig commentaar werd opgesteld rekening houdend met dit doel van essentieel praktischen aard.