

Récents progrès en matière de contrôle de la sécurité des câbles d'extraction

Le tensographe et l'appareil de contrôle magnéto-inductif A.C.M.I. de l'A.I.B.

Etude subsidée par l'Institut National de l'Industrie Charbonnière
et publiée avec son accord

Y. VERWILST, I.C.Mi., A.I.Br.,
Directeur Général de l'A.I.B.

par

G. JACQUES, I.C.Mi., A.I.Br.,
Chef du Service « Chaînes et Câbles » de l'A.I.B.

J. STREBELLE, I.C.M.E., A.I.Ms.,
Chef du Service « Contrôles non destructifs des matériaux » de l'A.I.B.

SAMENVATTING

De opzoekingen ondernomen door de A.I.B. in het raam van het « Plan Guérin », hadden tot doel de gebruiksveiligheid van de ophaalkabels in de mijnen te verhogen. Deze opzoekingen werden in verscheidene richtingen gedreven en de resultaten die aangehaald worden betreffen enerzijds de bepaling van de werkelijke belastingen in de kabels in de loop van de extractie en anderzijds de schatting van de degradatie van de kabel.

Een oorspronkelijk apparaat werd ontworpen en beproefd door de A.I.B. : de tensograaf; de verkregen aanduidingen werden vergeleken met degene die bekomen werden door een ander apparaat, de decelerometer, die gemakkelijker te behandelen is en toelaat de nodige opmetingen te doen zonder de extractie te storen.

Deze vergelijking heeft toegelaten een proefondervindelijke formule op te stellen waarmee men de waarde van de belasting in de kabel kan afleiden uit de versnellingsmetingen. Deze formule geeft een zeer goede benadering waarvan de fout hoogstens 5 à 10 % bedraagt.

Een belangrijke stap werd gedaan in de richting van de nauwkeurige bepaling van de werkelijke veiligheidscoëfficiënt bij werking van de kabels.

Anderzijds hebben de opzoekingen betreffende de schatting van de degradatie van de ronde ophaalkabels geleid tot de realisatie van een magnetisch apparaat (A.C.M.I.), dat sedert twee jaar werd aangewend voor het onderzoek van een groot aantal kabels.

De resultaten die hiermede verkregen werden zijn uiterst belangwekkend en op het huidig ogenblik kan men met zekerheid en op volstrekt objectieve wijze de plaats bepalen waar een kabel de sterkste degradatie vertoont.

Men is er zelfs in geslaagd de ernst van de degradatie te schatten door middel van talrijke vergelijkingen tussen de verkregen resultaten en het weerstandsverlies, afgeleid uit mechanische proeven op mosters van afgelegde kabels.

Het dient aangestipt dat het Belgische Mijnwezen het gebruik van dit apparaat in talrijke gevallen voorschrijft.

RESUME

Les recherches effectuées à l'A.I.B. dans le cadre du « Plan Guérin » ont pour but l'augmentation de la sécurité d'emploi des câbles d'extraction dans les mines.

Ces recherches ont été axées dans plusieurs directions et les résultats qui suivent ont trait d'une part à la détermination des efforts réels dans les câbles au cours de l'extraction et, d'autre part, à l'estimation du degré de dégradation d'un câble.

Un appareil original a été conçu et essayé par l'A.I.B. : le Tensographe; les indications obtenues ont été confrontées avec celles tirées d'un autre appareil, le décéléromètre, beaucoup plus maniable et permettant de procéder aux mesures nécessaires sans perturber l'extraction.

La confrontation a permis de dégager une formule expérimentale permettant de déduire la valeur des efforts dans le câble à partir des mesures d'accélération, et cette formule fournit une approximation très satisfaisante, avec une marge d'erreur de 5 à 10 %.

Un pas très important a donc été franchi vers la connaissance exacte du coefficient de sécurité réel de fonctionnement des câbles.

D'autre part, la recherche relative à l'estimation du degré de dégradation des câbles ronds d'extraction a conduit à la réalisation d'un appareil magnétique (A.C.M.I.) qui a été étudié sur de nombreux câbles pendant plus de deux ans.

Les résultats obtenus sont extrêmement intéressants et on est assuré à l'heure actuelle de pouvoir déterminer, sans le moindre risque d'erreur et d'une façon absolument objective, l'endroit du câble comportant la plus forte dégradation.

On arrive même depuis peu à préciser la gravité de la dégradation sur la base de nombreuses comparaisons effectuées entre les résultats observés et la perte de résistance déduite d'essais mécaniques sur tronçons de câbles déposés.

Il est à remarquer que l'Administration des Mines Belge impose l'emploi de cet appareil dans de nombreux cas.

Il a été institué un programme de recherches sur la sécurité des câbles d'extraction dit « Plan Guérin ». Le coût des recherches a été supporté à parts égales par l'Association des Industriels de Belgique et l'Institut National de l'Industrie Charbonnière. Lorsqu'elles seront complètement terminées, elles feront l'objet d'une publication d'ensemble.

La partie de ces recherches relative à la détermination des efforts réels dans les câbles d'extraction et celle relative à la détermination de leurs défauts internes ayant été clôturées avec succès, il a été décidé de faire le point par une courte description des deux appareils.

1. INTRODUCTION

1.1. Les câbles d'extraction, de par leur constitution, leur fabrication et les efforts auxquels ils sont soumis en service, sont des engins d'un contrôle particulièrement difficile. Le fil d'acier dur qui les compose est un matériau particulièrement remarquable par ses propriétés et particulièrement remarquable également par la rapidité avec laquelle il perd toutes ses qualités.

La fabrication se fait en partant du fil machine dont la composition peut varier :

de C : 0,50/0,53 % à C : 0,80/0,83 %
 Si : 0,20/0,22 Si : 0,20/0,25
 Mn : 0,80/1,00 Mn : 0,90/1,00

P : 0,01/0,02 P : 0,01/0,02
 S : 0,01/0,02 S : 0,01/0,02

fil machine à partir duquel on obtient les dimensions et les qualités voulues par traitement thermique approprié et par une série de passes de tréfilage pour obtenir la dimension désirée.

La résistance unitaire peut aller de 90 kg/mm² pour les fils profilés de câble clos à 210, voire 220 kg/mm² pour les fils ronds.

Les diamètres des fils les plus couramment utilisés vont de 1,6 à 3 mm et, dans certains cas, à 3,50 mm. Ceux-ci peuvent être « clairs » ou « galvanisés », cette galvanisation pouvant être opérée soit à chaud, soit électrolytiquement, soit même faire partie du cycle de tréfilage par galvanisation, soit électrolytique, soit à chaud, et par tréfilage ultérieur sur la dite galvanisation.

Suivant les qualités que l'on s'impose, on peut obtenir un très grand nombre de résultats différents en partant d'une même matière, en faisant varier les traitements thermiques et en jouant sur l'écrouissage de l'acier, soit par le pourcentage de réduction de section, soit par le nombre de passes de tréfilage au moyen desquelles ce pourcentage de réduction de section est obtenu. On peut ainsi obtenir des fils dont la limite d'élasticité est très proche ou plus ou moins éloignée de la résistance à la rupture, possédant une plus ou moins grande raideur, bref de grandes différences dans les pro-

priétés entraînant, elles, des différences dans les usages auxquels les fils sont destinés.

Si nous passons aux câbles qui sont constitués de ces fils, on pourra obtenir, par la fabrication, toute une gamme de câbles présentant les propriétés que l'on désire : flexibilité ou raideur, résistance à l'usure ou à la flexion, résistance à la fatigue ou à la corrosion, résistance à l'écrasement, résistance à la déformation, etc...

1.2. Lorsque ces câbles sont mis en service, ils sont évidemment soumis à des détériorations provenant de l'installation proprement dite, mais aussi et surtout à des dégradations provenant de leur genre de construction.

En effet, de par le commettage des fils entre eux et des éléments composant le câble, ces fils sont soumis à des efforts dynamiques qui sont non seulement des efforts de traction mais également des efforts de flexion et des efforts dus aux pressions unitaires de contact des fils entre eux ainsi qu'aux déplacements relatifs sous pression de contact de tous les fils entre eux au cours des mouvements de flexion et de torsion s'exerçant pendant le service du câble.

A ces sollicitations mécaniques viennent s'ajouter des phénomènes de corrosion engendrés eux-mêmes par ces sollicitations mécaniques (fretting corrosion) et de corrosion due aux milieux dans lesquels travaille le câble (ruissellement, humidité, chaleur humide, etc...).

Tous ces phénomènes : usure, corrosion, indentation, écrouissage, fatigue de service, engendrent la vétusté des fils. A cette vétusté propre des fils, s'ajoute la détérioration du câble lui-même par la disparition progressive des textiles d'âme et de guipage, par la diminution de son élasticité propre et par l'accroissement de raideur dû aux imbrications des fils entre eux qui provoque la diminution de sa capacité d'allongement.

Tous ces facteurs s'ajoutent entre eux pour finir par provoquer la destruction du câble et la nécessité de sa mise hors service.

1.3. Le contrôle des câbles d'extraction, en Belgique, est effectué suivant les indications données dans l'article « La pratique des câbles d'extraction en Belgique », par Y. Verwilt, paru dans « PACT » n° 6/1953, p. 451, qui est la traduction d'une communication faite à la Conférence sur les câbles métalliques dans les mines, réunie à Ashorne Hill (Angleterre) en septembre 1950.

1.4. Depuis que cet article a été écrit, des incidents graves survenus pendant le service de quelques câbles d'extraction ont donné lieu à des échanges de vues entre l'Administration des Mines et l'A.I.B. et ont fait sentir la nécessité de per-

fectionner les méthodes de contrôle des câbles en vue d'éviter le retour de ces incidents.

C'est ce qui a donné naissance au programme de recherches pour la sécurité du fonctionnement des câbles d'extraction, dans le cadre « Plan Guérin » du nom de l'Inspecteur Général Honoraire des Mines, M. Guérin, à l'initiative duquel ces recherches ont été confiées par Inichar à l'Association des Industriels de Belgique.

Ce plan prévoit un programme de recherches dans lequel figurent :

- a) la détermination des efforts réels dans les câbles;
- b) des essais systématiques de fatigue sur les fils et des examens métallographiques;
- c) l'examen de l'élasticité comparée propre des câbles d'extraction;
- d) la construction d'un appareil pour le contrôle magnéto-inductif des câbles ronds d'extraction et son utilisation pour le contrôle de la sécurité de ces câbles;
- e) une série de relevés et d'examens à effectuer sur un certain nombre d'installations d'extraction à câbles ronds ou plats, dans les charbonnages de Belgique.

Il importe le plus particulièrement d'être mieux renseigné sur les efforts réels qui se produisent dans les câbles d'extraction et de pouvoir déterminer avec la plus grande exactitude possible les endroits du câble pour lesquels ces efforts sont les plus destructeurs.

Afin de pouvoir étudier pour chaque installation en particulier la grandeur et l'étendue de ces efforts, qui dépendent des constantes de chaque installation, il a été trouvé que la meilleure solution était l'enregistrement graphique des efforts sur un diagramme, en cours de cordée. Et c'est ce qui a pu être réalisé, par l'utilisation du Tensographe A.I.B.

Ces efforts étant connus, ainsi que la partie du câble où ils exercent plus particulièrement leurs effets destructeurs, il convient de pouvoir déterminer, de la façon la plus objective, le moment où le câble ne pourra plus fonctionner avec toute la sécurité désirable.

L'expérience a montré que les détériorations dans les câbles ronds se manifestent souvent à l'intérieur de ceux-ci. C'est de cette constatation qu'est dérivée la méthode de l'ouverture des câbles, qui est décrite dans l'article signalé ci-dessus (PACT, n° 6/1953, p. 451 — Communication à la Conférence de Ashorne Hill, septembre 1950).

Afin de pouvoir déterminer l'endroit où cette ouverture pourra se faire avec la garantie la plus grande possible d'opérer en un endroit du câble estimé être le moins bon, l'A.I.B. a étudié la construction d'un appareil réalisant ce but. Le prin-

cipe de cet appareil, qui consiste à engendrer dans le câble un champ magnétique dont la variation (qui est l'indice d'une diminution de la section du câble, due aux fils brisés, à l'usure, aux indentations, etc...), est mise en évidence par une bobine de détection, n'est pas neuf. La réalisation d'un appareil fonctionnant avec une fidélité suffisante, une sensibilité convenable et dont les indications recherchées ne sont pas masquées par des phénomènes parasites dont l'amplitude est supérieure aux indications relatives à la vétusté du câble, n'était toutefois pas aisée.

Le but a cependant été atteint. Après deux années d'expériences et de remaniements, l'appareil A.C.M.I. a pu être mis en service et fonctionne actuellement de façon convenable. Nous croyons qu'il apportera un progrès sensible dans le contrôle et la sécurité des câbles ronds d'extraction.

L'ensemble des recherches Plan Guérin a commencé le 1^{er} avril 1953 et, comme toutes les recherches, a donné lieu à de nombreux tâtonnements et déboires dans la construction et la mise au point des appareils utilisés. A l'heure actuelle, deux des appareils qu'il a fallu concevoir et construire de toute pièce, à savoir le Tensographe A.I.B. et l'appareil de Contrôle Magnéto-Inductif (A.C.M.I.) A.I.B./Berthold, sont complètement au point et sont utilisés couramment pour les relevés qu'il y a lieu d'effectuer dans le cadre de la recherche Plan Guérin. Nous nous proposons de les décrire ci-après. Ils sont le fruit d'une collaboration pour laquelle nous devons remercier tout particulièrement Monsieur G. A. Homès, Professeur à la Faculté Polytechnique de Mons et à l'Université Libre de Bruxelles, le Professeur Berthold des Laboratoires Berthold, à Wildbad (Allemagne) et toute l'équipe spécialisée de l'A.I.B. en faisant toutefois une mention particulière de M. Strebelle, Ingénieur Chef du Service C.N.D.M., pour l'étude et la construction de ces appareils, et en particulier du Tensographe qui a été complètement conçu, étudié et réalisé à l'A.I.B. et de M. G. Jacques, Ingénieur Chef du Service « Chaînes et Câbles », pour leur utilisation. En ce qui concerne l'adaptation de l'appareil aux conditions de la pratique, il y a lieu de signaler tout spécialement notre technicien M. L.A. Francq.

2. MESURES DES FORCES DEVELOPPEES DANS UN CABLE D'EXTRACTION EN SERVICE, AU MOYEN DU TENSOGRAPHE A.I.B.

2.1. Principe de l'appareil pour câbles plats.

Un bâti porte trois paliers munis de rouleaux, le tout rigide et monobloc (fig. 1).

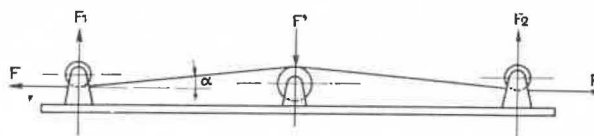


Fig. 1.

Le câble passe sur les rouleaux, comme indiqué, et donne lieu aux forces F' , F_1 , F_2 .

La décomposition des forces donne le schéma (fig. 2).

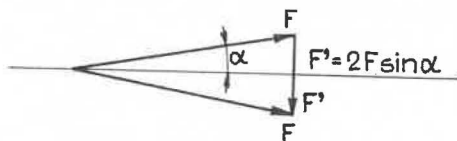


Fig. 2.

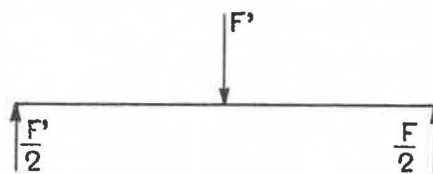


Fig. 3.

Principe des mesures.

F' étant fonction de F (proportionnelle à F si α est constant), il suffit de mesurer F' pour connaître F . Or, à la force F' , il faut adjoindre les deux forces verticales F_1 et F_2 telles que

$$F_1 + F_2 = F' \text{ (fig. 1).}$$

Si le palier portant F' est situé à mi-distance des deux autres paliers, on a : $F_1 = F_2 = F'/2$, et le bâti se comporte comme une poutre appuyée en ses deux extrémités et chargée en son milieu (fig. 3).

Cette charge F' amène une flexion proportionnelle de la poutre de sorte que, pour mesurer F' , il suffira de mesurer la flexion du bâti.

On remarquera que le dispositif ne comporte aucune partie mobile (sauf les rouleaux) susceptible de frictions perturbatrices, ni de ressort nécessitant des tarages périodiques et un ajustage mécanique.

2.2. Eléments des mesures.

La mesure de la flexion du bâti s'opère à l'aide de jauges ohmiques appelées aussi jauges de contrainte ou strain gauges qui ont, comme avantage, la possibilité de traduire des efforts rapidement variables, ce que ne peut pas faire un système mécanique entaché d'inertie.

Le bâti est très rigide et c'est un autre avantage que des jauges de contrainte que de permettre la me-

sure de flexions de très faible valeur. Cette rigidité conduit à un fonctionnement mécanique sans aléas et donne au sinus α une valeur pratiquement indépendante des efforts de flexion.

Etant disposées pour mesurer une flexion (fig. 4) les jauges sont placées au nombre de 4, ce qui permet de quadrupler la sensibilité de l'appareil en lui gardant toute la rigidité nécessaire. Cette disposition en 4 jauges, possède encore accessoirement l'avantage de rendre l'appareil insensible à toute déformation qui ne résulte pas de la force de traction dans le câble.

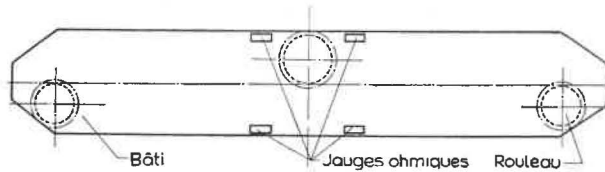


Fig. 4. — Disposition des jauges sur le bâti du Tensographe A.I.B.

2.3. Réalisation de l'appareil.

La réalisation pratique de l'appareil pour câbles plats (fig. 5) bien que conforme aux principes ci-dessus, est assez différente du schéma. Le

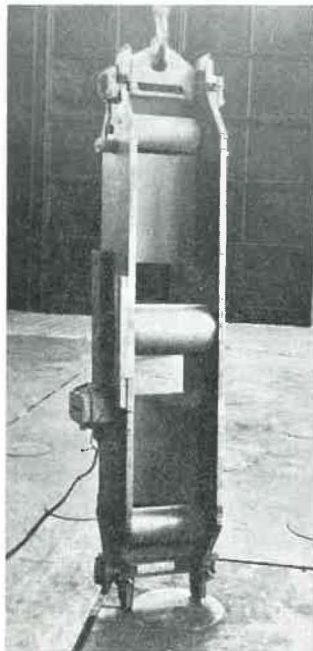


Fig. 5. — Tensographe A.I.B. pour câbles plats.

bâti est, en effet, constitué par deux flasques à moment d'inertie élevé, entre lesquels viennent se placer les rouleaux.

Les jauges ohmiques que portent les flasques sont reliées à un pont de mesure dynamique, lequel est suivi d'un enregistreur sur papier.

Un second appareil destiné aux mesures sur câbles ronds (fig. 6) a été construit et mis également en service. Son principe ne diffère en rien

du précédent, mais les rouleaux ont été remplacés par des poulies à gorge destinées à recevoir le câble rond.

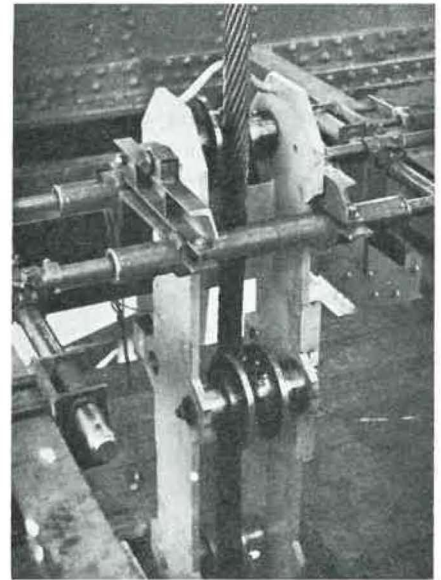


Fig. 6. — Tensographe A.I.B. pour câbles ronds.

2.4. Etalonnage de l'appareil.

Le principe de l'appareil est suffisamment simple que pour ne pas créer de difficultés spéciales dans la lecture des diagrammes, cependant des précautions doivent être prises pour éviter des erreurs d'interprétation qui pourraient être grossières.

Tout d'abord, l'appareil ne peut pas être étalonné une fois pour toutes : en effet, ses indications dépendent étroitement de l'angle α qui est lui-même lié à l'épaisseur (ou diamètre) du câble. Or, cette épaisseur varie, non seulement d'un câble à l'autre, mais aussi tout au long d'un même câble; on sait que, pour un câble plat, l'épaisseur près de la patte est souvent plus importante que vers l'enlevage cage au fond.

Il y a plus : le câble passant dans l'appareil subit de la part des rouleaux une compression proportionnelle à la charge suspendue et cette compression peut légèrement écraser le câble localement, faisant varier l'angle α (laminage par les rouleaux).

A ce point de vue, tous les câbles ne se comportent pas de la même façon à l'écrasement contre les rouleaux, certains s'écrasant plus que d'autres et cela, en relation avec leur état de compactage résultant de leur vétusté.

Cette circonstance provoque une inflexion de la relation : efforts dans le câble, lecture à l'appareil qui, au lieu d'être une droite, s'incurve en une légère courbe.

Notons encore que, par suite de la rotation rapide des rouleaux du tensographe et de la charge

radiale qu'ils supportent, un certain échauffement se produit dans le bâti de l'appareil et se transmet aux jauges de mesure. Cet inconvénient qui a amené de sérieuses perturbations dans les premiers essais a été supprimé en munissant l'appareil de jauges compensées contre les variations de température.

En résumé, si un câble était partout de même épaisseur, et incompressible, l'étalonnage de l'appareil serait une droite. Comme ce n'est pas le cas, il faut tenir compte pour des mesures précises, de cette compressibilité et des changements d'épaisseur.

Tout ceci justifie et nécessite de façon péremptoire l'étalonnage de l'appareil sur le câble à ausculter et au moment même de la mesure.

La correction due aux différences d'épaisseur du câble se calcule en pour cent par la formule

$$\text{correction en } \% = \frac{\Delta e}{h + e}$$

e étant l'épaisseur près de la patte, Δ e étant la différence d'épaisseur à l'endroit où se fait la mesure, et h étant une constante de réglage de l'appareil.

Pour les câbles plats en usage courant, cette correction vaut en pour cent trois fois la différence d'épaisseur exprimée en mm. Afin d'obtenir l'épaisseur du câble sur toute sa longueur, il est prévu d'incorporer au tensographe un dispositif mesureur d'épaisseur.

La précision avec laquelle on peut lire le diagramme est d'environ 0,25 mm et comme, le plus souvent, l'échelle vaut approximativement 1 tonne par mm, la précision de lecture des charges est voisine de 250 kg.

L'inertie du système de mesure est extrêmement faible de sorte que les variations les plus rapides des efforts dans le câble peuvent être enregistrées correctement jusqu'à environ 100 variations par seconde, ce qui est très satisfaisant puisque les variations constatées en pratique ne dépassent pas la cadence de 3 ou 4 par seconde.

La fréquence propre de flexion de l'appareil tensographe est également très élevée et il n'y a donc pas d'erreur à craindre par mise en vibration propre du bâti.

Au début de tout essai, on procède à l'étalonnage de la façon suivante :

On repère l'indication obtenue, cage au jour, vide puis chargée, et, en faisant descendre lentement la cage pour surveiller la stabilité de la lecture, stabilité qui n'est pas toujours assurée à cause des changements d'épaisseur parfois assez sensibles au voisinage de la patte.

On répète cet essai cage au fond, vide puis chargée, et éventuellement cage à balance ou à taquets avec câble mou.

Ces points de repère obtenus, on les reporte sur un diagramme lecture-efforts et l'on trace la courbe moyenne réunissant au mieux ces points. Cette courbe est la courbe d'étalonnage pour le câble et c'est à elle que l'on s'en référera pour la lecture du diagramme des efforts en extraction normale qui fait l'objet de la suite des essais.

Pour tracer la courbe moyenne, on s'inspire des remarques établies ci-dessous. A titre purement exemplatif, on trouvera à la figure 7 un diagramme d'étalonnage où chaque point repère numéroté est commenté comme suit :

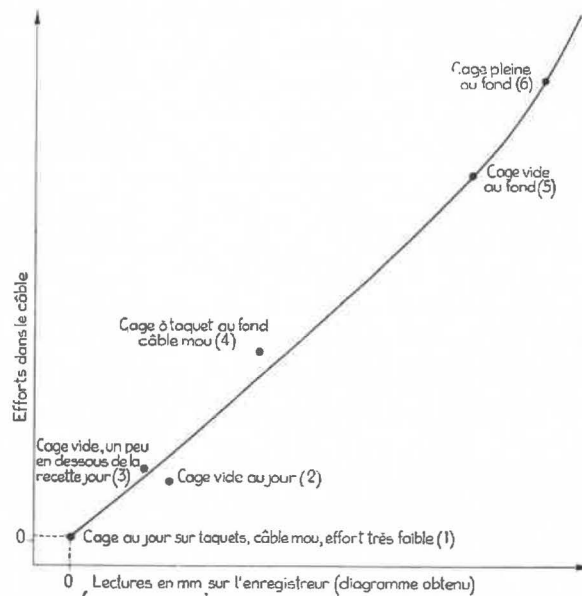


Fig. 7.

1. Repère origine appelé point zéro.
2. Le tensographe situé sous la molette (une dizaine de mètres en général) attaque une partie du câble ne venant jamais à molette, donc non laminée et plus épaisse que partout ailleurs; l'enregistreur donne une lecture trop grande, c'est pourquoi ce point se trouve à droite de la courbe moyenne.
3. On a laissé descendre la cage d'une dizaine de mètres, la force à molette est donc plus élevée vu le poids de câble supplémentaire; mais le tensographe attaque une partie du câble constamment laminée par les manœuvres au jour et donne une lecture trop petite, c'est pourquoi le point représentatif se trouve à gauche de la courbe d'étalonnage.
4. En ce moment le tensographe attaque une partie du câble laminée à molette par les enlevages en extraction normale, le câble y est donc aminci et le point de repère est reporté sur la gauche.
- 5.6. On remarque l'augmentation de la pente de la courbe qui résulte de la compressibilité du câble et de son aplatissement progressif sur les

rouleaux du tensographe, quand la charge augmente.

On a même parfois observé, dans le cas de charges élevées et cage immobile au fond, que la lecture de l'appareil décroissait avec le temps, eu égard à l'empreinte faite par les rouleaux sur le câble immobile.

D'autre part, sur câbles ronds, on a pu mesurer une diminution de diamètre après l'essai au tensographe, diminution due au laminage du câble par les rouleaux provoquant un tassement des torens.

C'est pour cette raison qu'il faut procéder à plusieurs relevés successifs d'efforts sur un câble et rejeter les premiers qui sont souvent incorrects.

Il faut noter en ce qui concerne la courbe d'étalonnage que les charges en jeu (poids de la cage, des attirails, des berlines, et surtout des produits remontés) n'est pas connue avec précision; de même, le poids du câble au mètre courant change légèrement avec la vétusté de ce dernier.

Il faut encore ajouter que la courbe d'étalonnage n'est pas valable pour les positions du câble correspondant à des points d'étalonnage tombant en dehors de la courbe (par exemple, cage au voisinage du jour et à taquets au fond).

Heureusement pour ces positions, les mesures de surtension n'ont pas d'importance pratique.

2.5. La figure 8 représente un relevé d'efforts lors d'une extraction normale où, pour la facilité de la lecture, on a porté en ordonnée une échelle des forces linéaires; les abscisses représentent la position de la cage dans le puits. On notera les particularités suivantes :

A - B Cage au fond sur balance et câble mou (câble plat).

B - C Enlevage proprement dit.

C - D - E La machine prend de l'accélération et la force de traction oscille de part et d'autre de sa valeur moyenne avec un maximum d'oscillation vers D.

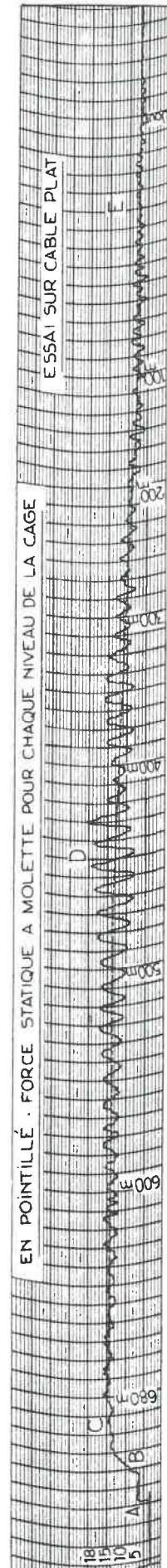
E Arrivée de la cage au jour.

On a reporté sur le diagramme en pointillé la force statique à molette calculée pour chaque niveau.

2.6. Essais effectués dans les charbonnages.

Nous avons procédé à différents essais sur câbles en service, d'abord dans un but de mise au point de l'appareil et ensuite principalement pour obtenir le coefficient de surcharge dynamique d'un câble près de la molette (fig. 8, diagramme type).

Ces essais ont mis en évidence un assez gros inconvénient pratique du tensographe; cet appareil est lourd et demande plusieurs heures pour sa mise en place en haut du châssis à molette. Ce travail ne peut se faire qu'un jour férié et non pas, comme nous l'aurions souhaité, pendant les



Profondeur de la cage (en mètres)

Fig. 8. — Essai sur câble plat.

jours de semaine et au moment de la pleine extraction. De plus, il est à craindre que le machiniste, averti, ne procède pas aux manœuvres d'extraction avec la décision habituelle, craignant de se voir reprocher trop de brutalité.

Ces essais, outre qu'ils nous ont permis de mettre au point le tensographe, ont également mis en évidence plusieurs faits remarquables.

Lors de l'enlevage, se manifestent des surtensions dues aux forces dynamiques nécessaires pour accélérer la cage vers le haut, surtensions alternativement positives et négatives et qui correspondent au mouvement vibratoire d'un corps pesant (cage) suspendu à un ressort (câble).

Il est évident, d'autre part, que ces vibrations répétées de tensions fatiguent bien plus le câble qu'une surtension unique qui se manifesterait à l'enlevage.

On a aussi observé que ces oscillations de tensions se produisent souvent en dehors de la période d'enlevage et peuvent acquérir des amplitudes plus importantes qu'à l'enlevage; ce phénomène fut même observé lorsque la cage était vide.

Ces constatations étaient de nature à renforcer l'intérêt qui était attaché à cette recherche.

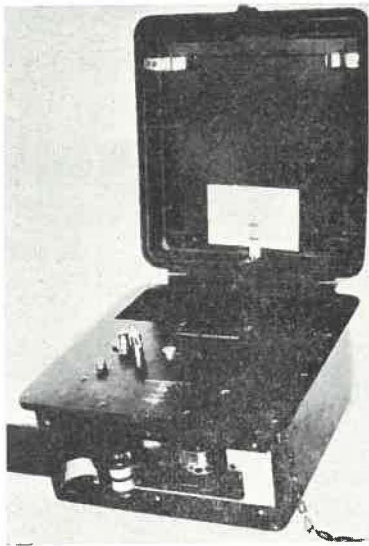


Fig. 9. — Décéléromètre Cambridge.

2.7. Essais simultanés avec le tensographe et le décéléromètre.

Les inconvénients, d'ordre pratique et psychologique signalés ci-dessus nous ont amené à nous poser le problème suivant : des mesures effectuées à l'aide d'un décéléromètre placé sur la cage sont-elles capables de nous renseigner sur les efforts dans le câble, à l'endroit où il passe sur la molette ? Le décéléromètre (fig. 9) contrairement au tensographe, est léger et est mis en service rapidement pendant la pleine extraction, sans entraver en rien la marche de l'installation : de ce fait le machiniste n'est pas averti de ce que l'on procède à des mesures.

Le décéléromètre nous donne les accélérations instantanées à la patte (fig. 10); le problème est donc le suivant : connaissant à tout instant les accélérations à la patte, trouver les forces en n'importe quel endroit du câble et spécialement à la molette.

On peut passer des accélérations aux forces en multipliant les accélérations par la masse qui les subit. Malheureusement, si ce calcul s'applique correctement à la cage chargée ou non, il ne s'applique pas sans précautions au câble (dont la masse est loin d'être négligeable) qui ne peut pas être considéré comme un solide dans le sens de la mécanique rationnelle. Il s'ensuit qu'il est très difficile de comparer les indications du tensographe et celles du décéléromètre en faisant appel à des formules toutes faites.

Néanmoins, à la suite de nos essais, nous avons été frappés par la similitude de forme vraiment remarquable qui existe entre les diagrammes fournis par le tensographe et le décéléromètre au même moment (fig. 11).

Tout d'abord, il importe de remarquer que le décéléromètre étant posé sur la cage, il enregistre non seulement les accélérations de la cage considérée comme un solide, mais aussi éventuellement des vibrations des tôles de la cage. Il y a donc lieu, lorsque l'on dépouille les diagrammes d'accé-

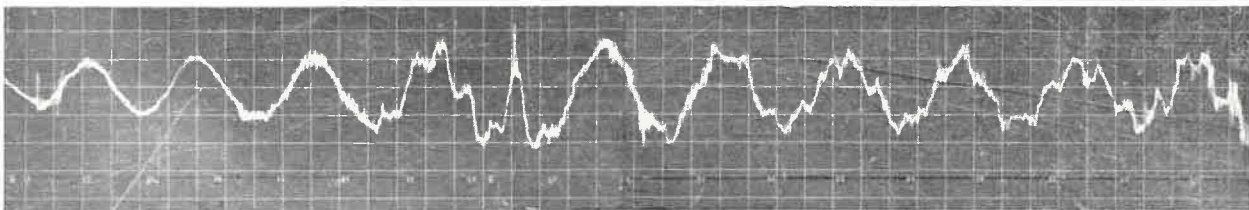


Fig. 10. — Diagramme obtenu à l'aide du décéléromètre Cambridge. Ce diagramme a trait au moment qui suit immédiatement l'enlevage; on remarque les variations d'accélérations dont l'amplitude est loin d'être négligeable et qui correspondent, dans ce cas particulier d'ailleurs, à une période de résonance du système cage-câble.

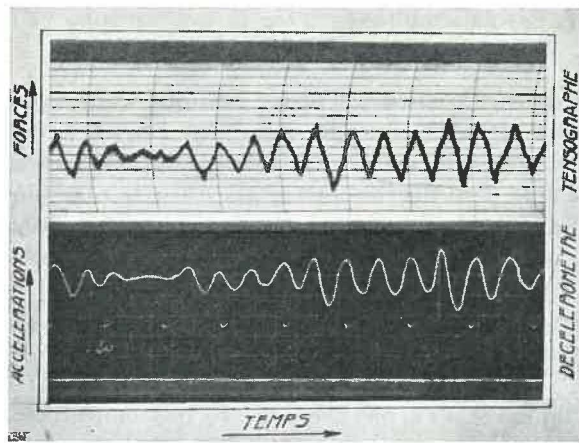


Fig. 11. — Comparaison de la forme des diagrammes obtenus par le tensographe et le décéléromètre (voir aussi fig. 16).

lérations, de prendre la courbe moyenne éliminant ainsi les perturbations dues aux vibrations (fig. 12).

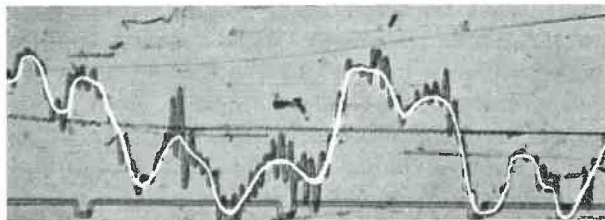


Fig. 12. — Agrandissement d'un décélérogramme, montrant les parasites et la courbe moyenne qu'il convient de considérer.

Les figures 13 et 13bis représentent, pour le décéléromètre et pour le tensographe, quelques diagrammes relevés sur un même puits à des moments différents. La similitude des trois diagrammes du tensographe est frappante; celle des décélérogrammes demande un peu d'attention, mais on reconnaît qu'on a chaque fois affaire au même phénomène auquel se superpose l'effet des chocs sur la cage qui viennent apparemment rompre la similitude des diagrammes. Les résultats obtenus au tensographe et au décéléromètre sont donc reproductibles.

On peut dire qu'un tel diagramme est une caractéristique du puits que l'on examine, ainsi que de la façon d'opérer du machiniste d'extraction.

Des essais préliminaires nous ayant montré qu'il serait vain de rechercher une relation simple et exacte entre le tensographe et le décéléromètre, nous avons évité délibérément la voie mathématique pure qui, usant d'hypothèses simplificatrices plus ou moins douteuses et faisant appel à des constantes propres au câble, inconnues ou peu accessibles ou encore variables dans le temps, risquait de fausser la solution dès le départ. Parmi ces

constantes, le module élastique du câble et son coefficient d'amortissement interne sont des plus délicats à estimer.

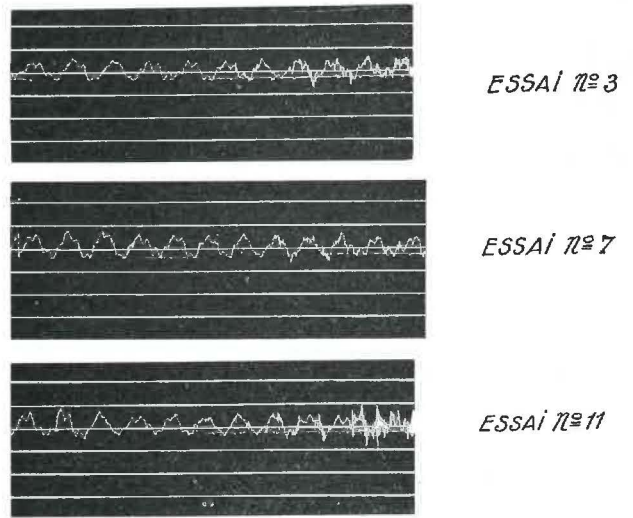


Fig. 13. — Charbonnage n° 421.

Reproductibilité des mesures effectuées au décéléromètre. (Diagrammes extraits des essais du 21-12-1935). Mesures des accélérations lors de l'enlevage, effectuées à l'aide du décéléromètre en 5 instants différents. On remarque la bonne concordance des 3 enregistrements.

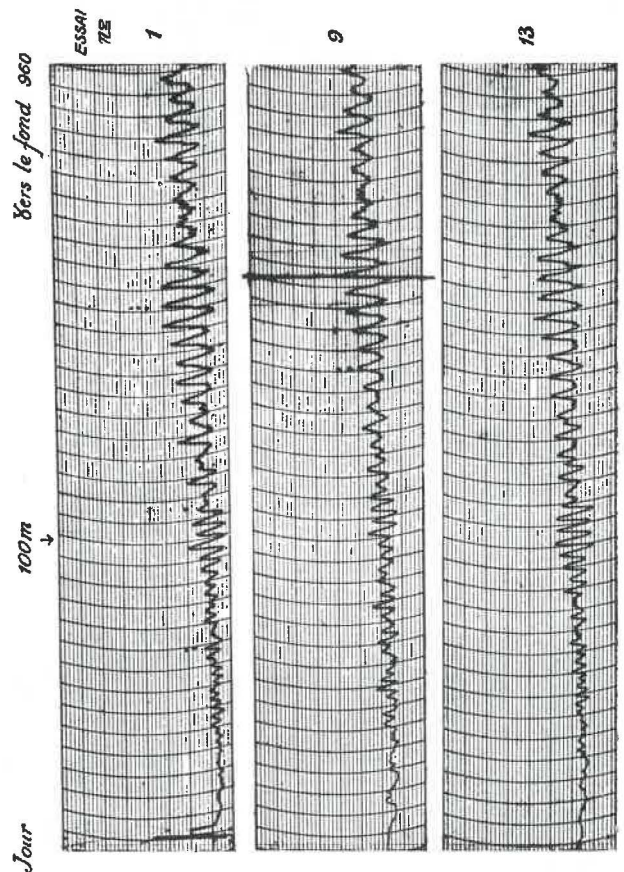


Fig. 13bis.

Nous avons préféré nous en tenir à des raisonnements simples de mécanique issus des considérations suivantes :

Il convient d'abord de bien remarquer que le décéléromètre mesure les *accélérations instantanées de la cage*, qui n'ont rien de commun avec la notion plus répandue d'accélération à la machine qui ne sera considérée ici qu'incidemment.

Considérons la cage en pleine extraction, la machine tournant à vitesse constante (donc accélération nulle), on sait qu'il arrive bien souvent que la cage, elle, ne descende pas à vitesse constante, mais prenne un mouvement oscillant vertical la faisant se déplacer tantôt plus vite, tantôt moins vite que le câble à la machine.

De ceci on conclut que l'accélération à la machine est égale (à peu de chose près) à l'accélération moyenne à la cage.

Pour simplifier, on considérera que les accélérations à la molette sont les mêmes qu'à la machine.

Supposons un instant, l'installation au repos avec la cage pendue près du fond. Si l'on donne un choc à cette cage, elle va se mettre à osciller de haut en bas comme un poids suspendu à un ressort et le décéléromètre va enregistrer des accélérations passant alternativement de $+\varphi$ à $-\varphi$. De là, connaissant le poids C de la cage et sa masse, soit C/g, on obtient les efforts à la patte qui ne sont autres que

$$C \pm \varphi \frac{C}{g} \text{ ou } C(1 \pm \frac{\varphi}{g}).$$

Si l'on essaye d'en déduire l'effort à la molette, à l'aide d'une formule du même genre, il faut tenir compte du poids du câble et des accélérations à chaque niveau dans le câble.

Un raisonnement *simplifié* consiste à se dire : puisque la patte du câble a les mêmes accélérations que la cage, tandis qu'à la molette elles sont nulles, considérons que l'ensemble du câble a une accélération passant de

$$+\frac{\varphi}{2} \text{ à } -\frac{\varphi}{2}.$$

Ce raisonnement n'est qu'approché car il ne tient pas compte du temps de propagation, de la patte à la molette, des ondes de tension dans le câble, ce qui, croyons-nous, serait impossible à introduire dans une formule pratique.

A la molette, nous avons donc l'effort statique (Cage C + Câble K) auquel on ajoutera l'effort dynamique dû à la cage $\pm C \varphi/g$ et celui dû au câble :

$$\pm \frac{1}{2} K \frac{\varphi}{g}.$$

Les choses ne sont pas sensiblement plus compliquées si l'installation au lieu d'être au repos est en mouvement; soit dans ce cas, φ_1 et φ_2 , les accélérations maxima et minima relevées au cours d'une oscillation à un instant donné (à un niveau de la cage donné); φ_1 et φ_2 sont considérés en valeur algébrique de sorte que l'accélération moyenne (égale à l'accélération machine) vaut

$$\varphi_{\text{moy}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

Oubliant un instant les oscillations à la cage, la force de traction dans le câble à molette vaut :

1) Partie statique :

$$\text{Poids cage} + \text{Poids câble} = C + K$$

2) Partie dynamique :

$$(\text{Cage} + \text{Câble}) \times \varphi_{\text{moy}}$$

Superposons-y l'effet des oscillations de la cage et du câble

$$(\text{Cage} + 1/2 \text{ câble}) (\varphi_1 - \varphi_{\text{moy}})$$

et à l'instant suivant

$$(\text{Cage} + 1/2 \text{ câble}) (\varphi_2 - \varphi_{\text{moy}}).$$

Utilisant les symboles C et K déjà introduits on trouve que la somme de ces différents effets peut se mettre sous la forme double qui suit :

Effort max. à molette =

$$(C + K) (1 + \frac{\varphi_1}{g}) - K (\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{4g})$$

Effort min. à molette =

$$(C + K) (1 + \frac{\varphi_2}{g}) + K (\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{4g})$$

Nous ne tenons pas compte de la résistance de l'air rencontrée par la cage car elle est petite vis-à-vis des autres forces en présence; en effet, elle est de l'ordre de la centaine de kilos vis-à-vis des dizaines de tonnes de charge à molette.

Dans le cas où se produit une surtension non accompagnée d'oscillations de la cage, les formules ci-dessus ne sont plus valables. Dans ces conditions, l'absence d'oscillations signifie que la cage et toutes les parties du câble subissent la même accélération moyenne et la formule à appliquer est :

$$F \text{ dynamique} = (C + K) (1 + \varphi/g)$$

Remarque : Nous avons pu constater, tant lors des essais comparatifs tensographe-décéléromètre que lors de nombreux essais avec le seul décéléromètre, que les surcharges lors de l'enlevage sont très généralement faibles et n'ont jamais atteint 50 % en plus de la charge statique.

Mais par contre, certains puits, notamment ceux équipés de câbles plats, offrent en cours de translation une période de résonance cage-câble où nous avons constaté des oscillations de plus et moins 1 g de part et d'autre de la charge statique instantanée.

Pour les installations à poulies Koepe, nous n'avons pas encore observé ce phénomène jusqu'à présent; d'autre part, à ce jour, aucune mesure n'a été faite sur câbles ronds s'enroulant sur un tambour.

Ces oscillations sont souvent assez nombreuses (environ une par seconde et ce, pendant 5 à 10 secondes); elles créent dans la partie du câble qui passe en cet instant à la molette, un surcroît de fatigue qui peut être plus important que la fatigue à l'enlevage.

Nous avons d'ailleurs vérifié ce fait en observant sur une période de plus de 10 ans les causes

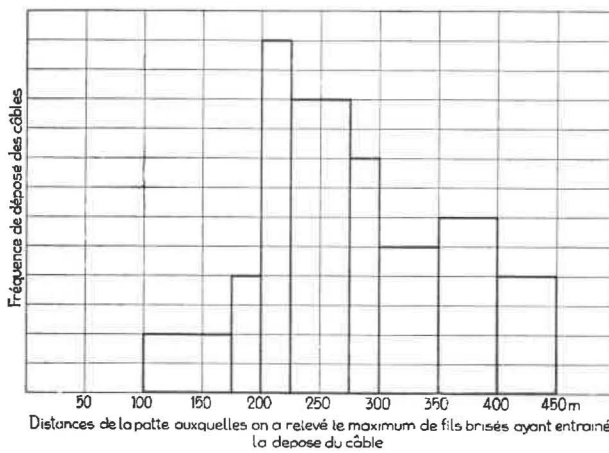


Fig. 14. — Charbonnage n° 85.

Diagramme montrant la fréquence de production du nombre maximum de fils brisés au mètre courant aux endroits renseignés à partir de la patte.

Ce diagramme a trait à 16 câbles déposés pour fils brisés pendant la période du 9-2-1936 au 21-7-1951.

de dépose des câbles sur des installations que nous avons suivies. Nous avons effectivement observé que les câbles avaient dû être remplacés par suite de fils brisés aux endroits où se produisent ces oscillations de résonance.

Le diagramme 14 (fig. 14) montre, pour un puits particulier, qu'il existe effectivement une zone (200 à 275 m de la patte) où les ruptures de fils sont les plus fréquentes.

Ce puits ayant été approfondi, nous n'avons pas pu vérifier s'il y avait concordance du maximum de fils brisés avec les périodes de résonance du système cage-câble.

Cette vérification a cependant été effectuée sur un autre puits où les conditions d'extraction ont très peu varié depuis 1936 jusqu'à 1949.

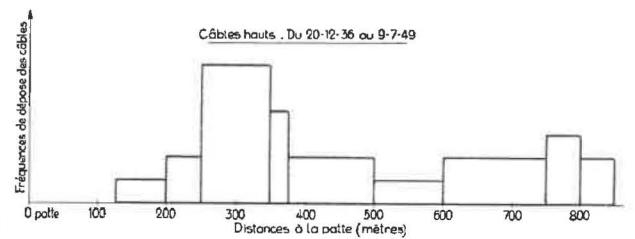


Fig. 15. — Charbonnage n° 421.

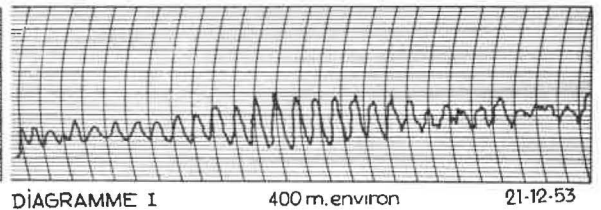
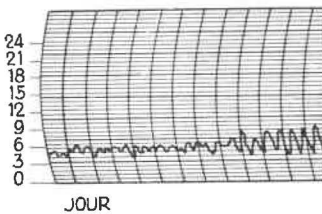
Fréquence de la production du nombre maximum de fils brisés au mètre courant, aux endroits renseignés à partir de la patte, lors de la dépose d'une série de câbles, pendant la période du 20-12-1936 au 9-7-1949.

Le diagramme 15 (fig. 15) montre que les fils brisés se produisent le plus souvent entre 250 et 375 m de la patte. Les diagrammes obtenus conjointement au tensographe et au décéléromètre (fig. 16) montrent qu'effectivement, il existe des oscillations propres vers 200 et 400 m du jour.

On en déduira donc que, les oscillations ayant lieu quand la patte se situe entre 200 et 400 m du jour, la partie du câble qui passe à ce moment sur la molette souffre le plus de fils brisés.

TENSOGRAPHE

(Charges à la molette en tonnes)
N.B. Les charges lues sont à augmenter de 1,5 % à 400 m).
Descente de 10 h 43



DECCELEROMETRE

(Charges à la pat'e en tonnes).

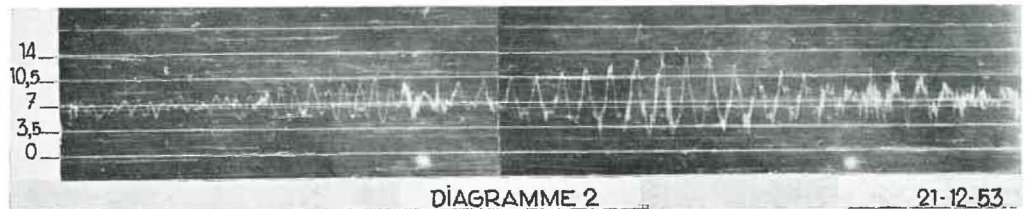


Fig. 16. — Relevé des efforts, lors de l'extraction, à l'aide du tensographe A.I.B. et du décéléromètre Cambridge. Puits n° 1 — extraction Câble haut — 21-12-1953.

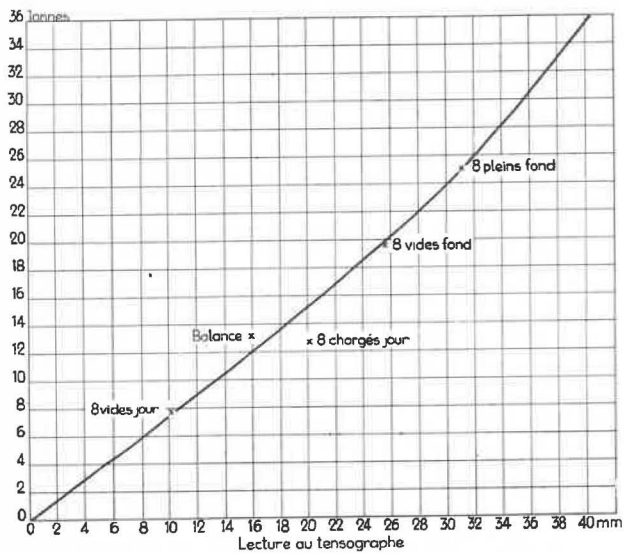


Fig. 17. — Essai n° 1, le 21-12-1953.

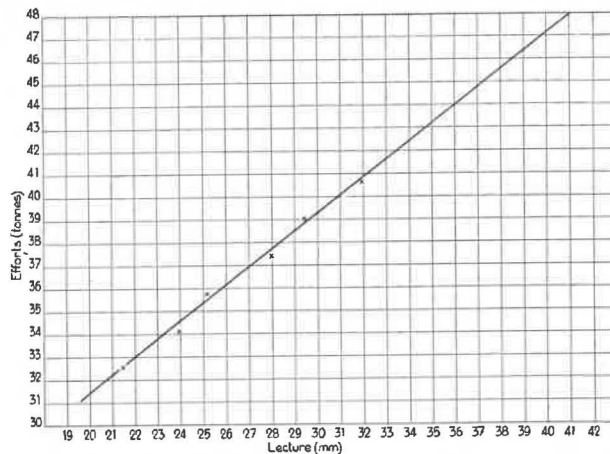


Fig. 20.

cessaires aux installations pour éviter la production des oscillations de résonance : annulation du faux rond à la machine, changement de vitesse d'extraction, changement des charges dans la cage.

Dès que le tensographe fut mis au point dans ses détails, nous avons poursuivi nos essais dans le but de justifier expérimentalement les formules avancées plus haut et reliant les accélérations à la cage aux forces à la molette. Lors de ces essais plusieurs diagrammes ont été pris au tensographe et au décéléromètre, nous en avons retenu quatre (2 descentes et 2 montées).

Le diagramme d'étalonnage est représenté à la figure 17. Nous avons tiré de ces essais le tableau 1 reproduisant, d'une part, les charges trouvées au tensographe en différents points remarquables du diagramme et, d'autre part, les charges calculées par la formule établie plus haut à partir des décélérogrammes.

On remarquera que la plupart des mesures de comparaison sont prises avec la cage au fond; c'est en effet là que les charges sont les plus importantes et que l'influence du poids du câble est maximum, facteur essentiel pour une vérification valable de la formule.

Le tableau 2 a trait à des essais effectués dans un autre charbonnage et le diagramme d'étalonnage relatif au tensographe est représenté à la figure 18, pour le premier essai, et à la figure 19, pour les deuxième et troisième essais.

Un troisième groupe d'essais (tableau 3) a eu lieu sur une installation Koepe avec câble rond et nous a fourni l'occasion d'une ample vérification des formules proposées pendant les manœuvres au fond, ce qui n'avait pas été possible avec les essais précédents vu la présence d'une balance hydraulique au fond.

La physionomie du diagramme des forces sur cette installation équipée d'une machine électrique est toute différente de celle des diagrammes des essais précédents (machine à vapeur); tant

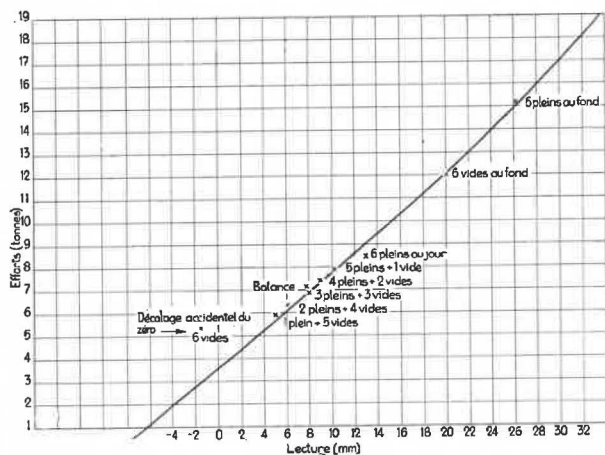


Fig. 18.

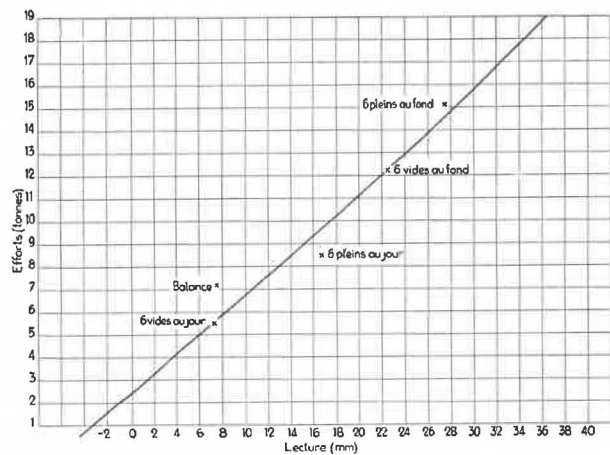


Fig. 19.

Il apparaît donc actuellement possible de désigner à l'attention du visiteur de câbles, les endroits des câbles qui sont les plus susceptibles de présenter des fils brisés et, en plus, il est parfaitement possible de préconiser les modifications né-

au cours de la descente que de la montée, on n'aperçoit pas ces oscillations de tension qui caractérisaient les machines à vapeur à câbles plats. En revanche, lors des manœuvres au fond, de telles oscillations se produisent.

Les surtensions à l'enlevage du fond, ou bien, au freinage à l'arrivée au fond ne s'accompagnent que d'oscillations très faibles ou même nulles.

Nous avons tracé (fig. 20) le diagramme d'éta-lonnage du tensographe relatif aux efforts lors des manœuvres au fond, avec et y compris le freinage à la descente et l'enlevage. Le tableau 3 rend compte des résultats obtenus par l'application des formules proposées.

Dans chacun des tableaux figure la moyenne des écarts obtenus par le calcul à partir des décéléro-graphes, écarts sur les maxima et sur les minima des efforts.

Ces moyennes sont résumées ci-après :

Tableau	1	2	3
Écarts moyen sur les maxima	+ 6,5 %	- 3,3 %	+ 0,2 %
Écarts moyen sur les minima	+ 3,6 %	+ 7 %	- 3,1 %

En conclusion, on observe tantôt des écarts positifs, tantôt des écarts négatifs qui englobent toutes les erreurs liées à ce genre de détermination qui s'effectue non pas en laboratoire mais à la mine et qui, dans ces conditions, ne facilitent pas la précision des mesures.

La précision atteinte et représentée dans sa moyenne par le tableau ci dessus peut-elle être considérée comme satisfaisante ? Il y a lieu, pour répondre à cette question, de remonter aux buts qui ont déterminé ces essais et qui étaient initialement : *déterminer les efforts, dans un câble, au cours du processus normal d'extraction.* Il faut reconnaître que ces efforts sont tributaires d'un lourd facteur humain : les réactions du machiniste d'extraction. On a pu constater maintes fois, au cours des essais, que la façon de travailler du machiniste pouvait changer profondément l'allure d'un diagramme et l'intensité des efforts dans le câble. Ce facteur ne fait de doute pour quiconque est au courant des questions d'extraction et c'est bien la raison profonde pour laquelle on a été amené à faire des mesures d'efforts à l'aide du décéléromètre que l'on peut mettre en service sans éveiller l'attention du machiniste, et, avantage appréciable, sans perturber les opérations d'extraction.

Il faut donc se rappeler que toute mesure des efforts dans le câble, même faite avec un appareil supposé de haute précision, comportera à sa base une source d'erreur due au machiniste.

On peut donc considérer comme satisfaisantes des approximations qui, en moyenne, n'accusent pas plus de 5 à 10 % d'écart.

N'est-il pas trop optimiste d'avancer ces chiffres de 5 à 10 % alors qu'un des résultats d'essais montre 40 % d'écart ? Non, car on ne se contente pas et on ne peut pas se contenter d'une seule détermination d'effort au cours d'un essai et l'on peut tabler sur un résultat moyen basé sur plusieurs mesures; de cette façon, il est hautement improbable d'obtenir, pour chaque mesure, de grands écarts et l'on peut effectivement tabler sur un écart moyen de 5 à 10 %.

On remarque également sur le tableau ci-après que les forces maxima sont sujettes aux écarts les plus petits, dépassant rarement 10 %; ceci est bien naturel car, si la force à mesurer est grande, les facteurs perturbateurs responsables des écarts voient leur importance relative réduite. Ce fait est d'ailleurs heureux vu que ce sont précisément les forces maxima qui sont les plus intéressantes à connaître.

Conclusions.

Tenant compte de ce qui précède, le décéléromètre permet d'accéder, d'une façon très satisfaisante pour la pratique, aux efforts maxima et aux variations maxima de ces efforts, qui sont les deux facteurs mécaniques déterminants pour la fatigue des câbles.

Revenant aux buts de ces essais, on constate qu'ils ont été dépassés en ce sens qu'il est devenu évident que des forces dangereuses pouvaient se développer à certains moments de l'extraction et que l'existence de ces forces expliquait la présence de fils brisés nombreux en certaines zones des câbles. Or, dans ce cas, ce n'est pas tellement la grandeur exacte de ces forces qu'il importe de connaître, mais leur existence et le nombre d'efforts répétés qu'elles induisent dans le câble, répétition qui conduit aux ruptures par fatigue des fils. Ce résultat est obtenu par un simple relevé au décéléromètre et, à simple vue du diagramme, on peut déceler que telle ou telle autre partie du câble est sujette à des dégradations dangereuses et axer la surveillance sur ces parties.

De plus comme ces forces répétées ont nécessairement une origine précise, il est possible de rechercher celle-ci et de la supprimer ou tout au moins de l'atténuer.

Il en est ainsi notamment pour les faux ronds si fréquents des bobines d'enroulement des câbles plats, ou en cas de mauvais réglage de la distribution des machines à vapeur.

TABLEAU 2

Charbonnage n° 240.

	1 ^{er} essai						2 ^m essai				3 ^m essai						
	montée 6 chariots pleins						descente 6 vides				montée 6 pleins						
1) Niveau de la cage à l'instant où les mesures ci-dessous sont faites	fond	fond	fond	fond													
	680 m	678 m	672 m	670 m	120 m	70 m	370 m	640 m	670 m	680 m	enlevage	666 m	525 m	520 m	515 m		
2) Poids statique à la patte (C : tonnes)	8,55	8,35	8,35	8,35	8,35	8,35	5,55	5,55	5,35	5,35	8,55	8,35	8,35	8,35	8,35		
3) Poids statique du câble pour le niveau considéré (K : tonnes)	6,95	6,95	6,85	6,85	1,35	0,85	3,85	6,55	6,85	6,95	6,95	6,80	5,40	5,35	5,30		
4) Force maxima et minima enregistrées au tensographe (charges statiques et dynamiques à la motte)	Max.	18,1	18,1	19,5	19,5	14,2	11,7	15,5	15,4	16,1	14,5	17,5	17	20	20,8	20,8	
	Min.	14	12,2	12,2	11,4	7,4	7,6	4,7	9,3	10,4	10	—	10,7	9,3	9,3	8,5	
5) Accélération relevées (en fraction de g)	φ_1/g	+0,227	+0,227	+0,355	+0,355	+0,466	+0,22	+0,79	+0,237	+0,303	+0,114	+0,16	+0,24	+0,49	+0,485	+0,485	
	φ_2/g	—0,045	—0,165	—0,165	—0,225	—0,226	—0,17	—0,40	—0,243	—0,147	—0,164	0	—0,18	—0,43	—0,43	—0,51	
6) Résultats calculés d'après la formule proposée	Max.	18,1	17,9	19,6	19,5	14,1	10,5	15,35	13,7	15,15	13,2	17,7	18,1	19,1	19,1	20	
	Min.	15	13,4	13,5	12,7	7,5	7	6,6	9,6	11,15	10,7	—	13,2	9	9	8	
7) Résultats ci-dessus exprimés en % des forces au tensographe	Max.	100	99	100,5	100	99,5	88	99	90	94	92,5	101	106,5	95,5	92	96	Moy. : 96,7
	Min.	107	109,5	110,5	111,5	98,5	92	140	103	107	107,3	—	123,5	97	97	94	Moy. : 107

CARACTERISTIQUES SOMMAIRES DE L'INSTALLATION D'EXTRACTION

- a) Machine d'extraction à vapeur à bobines — balance hydraulique au fond, taquets au jour.
 b) Vitesse d'extraction aux produits : environ 8 m/sec.
 c) Epaisseurs relevées du câble à la patte : 20,5 mm; à 300 mètres : 19,5 mm; à 600 mètres : 19,3 mm.
 d) Poids par mètre courant : 10 kg/m.
 e) Charge de rupture à l'état neuf : 148.800 kg.

- f) Coefficient de sécurité au placement : $K = 8,8$.
 g) Longueur du câble sous le tensographe cage au fond 695 m.
 h) Poids cage vide + attirails : 3400 kg.
 i) Poids 1 wagonnet vide : 325 kg.
 j) Poids 1 wagonnet charbon : 825 kg.
 k) Longueur du câble sous le tensographe cage au jour : 15 m.

l) Poids de (en kg) :

	au jour	au fond	à la patte
Cage vide	3555	10350	3400
Cage + 6 vides	5500	12300	5350
Cage + 6 charbons	8500	15300	8350

TABLEAU 3 (essai du 8-8-54)

Charbonnage n° 347.

	Freinage à la descente	Manœuvres au fond			Enlevage du fond		
		1 ^{er} étage chargé	2 ^e étage chargé	4 ^e étage chargé			
1) Niveau de la cage au moment des mesures	900 m				976 m		
2) Charge statique totale (C + K) tonnes	32,540	54,150	53,760	58,980	40,590		
3) Poids de câble (tête + équilibre) K : tonnes	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9		
4) Efforts lus au tensographe	Max.	56,1	56,7	57,7	45	47,8	
	Min.	—	35	33,1	37,1	45,9	
5) Accélération lues au décéléromètre	Max.	+0,19	+0,1	+0,10	+0,08	+0,18	
	Min.	—	-0,05	-0,11	-0,07	+0,09	
5) Résultats du calcul à l'aide des formules	Max.	58	55,5	58,4	42,5	47,4	
	Min.	—	51,4	52,7	57,5	42,7	
7) Résultat ci-dessus exprimé en % des résultats au tensographe	Max.	105	96	102	98,5	99,6	Moy. : 100,2
	Min.	—	95	99	100,5	95	Moy. : 96,9

CARACTERISTIQUES SOMMAIRES DE L'INSTALLATION D'EXTRACTION

- a) Machine d'extraction Koepe, système Ward Léonard.
- b) Vitesse d'extraction aux produits : 13,95 m/sec (durée 141,6 sec).
- c) Caractéristiques du câble tête n° 53/25, placé le 27-9-53 :
 - Diamètre à l'état neuf : 62,8 mm;
 - Charge de rupture : 336.900 kg;
 - Poids par mètre courant : 16,257 kg;
 - Coefficient de sécurité au placement : K = 8,02.
- d) Diamètre actuel du câble tête : 59 à 61,8 mm.
- e) Caractéristiques du câble d'équilibre n° 50/2, placé le 13-1-50 :
 - Dimensions à l'état neuf : 215 mm × 28 mm;
 - Charge de rupture : 208.500 kg;
 - Poids par mètre courant : environ 16 kg.
- f) Longueur câble tête sous molette basse ou couchant, cage Basse au jour : environ 20,32 m.
- g) Longueur câble d'équilibre sous cage, cage Basse au jour : environ 1020 m.
- h) Longueur câble tête sous molette Basse, cage Basse à 976 m : environ 1010 m.
- i) Longueur câble d'équilibre sous cage, cage Basse à 976 m : environ 50 m.
- j) Longueur câble tête sous molette Basse, cage Basse à 430 m : environ 464 m.
- k) Longueur câble d'équilibre sous cage, cage Basse à 430 m : environ 576 m.
- l) Poids cage vide + attirails (+ attelage) : 10.900 kg.
- m) Poids 1 berline vide : 395 kg.
- n) Poids 1 berline pleine de pierre : 1595 kg.
- o) Poids 1 berline pleine de charbon : 1200 kg.
- p) Poids 1 truck double vide : 580 kg.
- q) Chargement de la cage : 6 paliers à 2 berlines = 12 berlines. Charge maximum : 8 pierres ou 12 charbons.
- r) Poids sur molette Basse, cage Basse chargée de 12 vides :

	au jour	à 976 m
Cage + attirails (+ attelage)	10.900 kg	10.900 kg
12 berlines vides : 12 × 395 kg =	4.740 kg	4.740 kg
Câble tête au jour :		
20,32 × 16,257 kg =	350 kg	—
à 976 :		
1010 × 16,257 =	—	16.420 kg
à 430 :		
464 × 16,257 kg =	—	—
Câble d'équilibre au jour :		
1020 × 16 kg =	16.320 kg	—
à 976 :		
50 × 16 kg =	—	480 kg
à 430 :		
576 × 16 kg =	—	—
Total :	52.290 kg	52.540 kg
- s) Poids sur molette Basse, cage Basse au fond chargée de :

12 vides	32.540
10 vides + 2 charbons	34.150
8 vides + 4 charbons	35.760
6 vides + 6 charbons	37.370
4 vides + 8 charbons	38.980
2 vides + 10 charbons	40.590
0 vide + 12 charbons	42.200

Quand la cause de ces perturbations ne peut être supprimée, on peut arriver à en atténuer les effets tout simplement en modifiant la vitesse d'extraction (réduction ou augmentation) ou la grandeur des charges dans la cage.

On peut donc dire qu'il est possible, et ce, sans aucune difficulté, de détecter les perturbations de forces dans un câble d'extraction et qu'il est presque toujours possible d'y porter remède d'une façon simple et par le fait même de supprimer les causes les plus néfastes des dégradations des câbles.

Les mesures d'efforts ont aussi permis de se libérer, en acceptant les approximations dont question plus haut, de l'incertitude totale où l'on se trouvait quant à la grandeur des efforts réels dans les câbles; nul doute que, de cette façon, l'on parvienne à l'avenir à augmenter la sécurité et le rendement de l'extraction, d'une part, en évitant les dégradations des câbles et, d'autre part, en allégeant ceux-ci éventuellement et l'on n'ignore pas combien cette question d'allègement est d'actualité.

4. L'APPAREIL DE CONTROLE MAGNETO-INDUCTIF A.C.M.I. - A.I.B./BERTHOLD

Cet appareil (fig. 21 et 22) a pour but de déceler, dans les câbles ronds, la présence de fils brisés, tant à l'extérieur que dans les couches intérieures de torons, ainsi que toutes les dégradations dues à des diminutions de section provenant de l'usure, de l'indentation et de la corrosion.

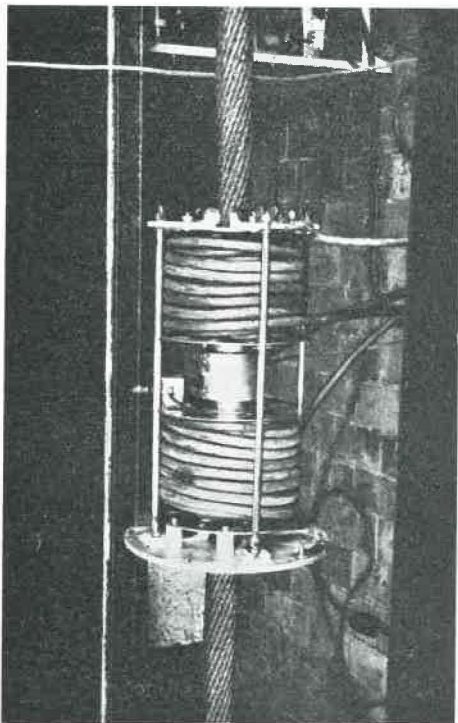


Fig. 21. — Le détecteur de l'appareil A.C.M.I.

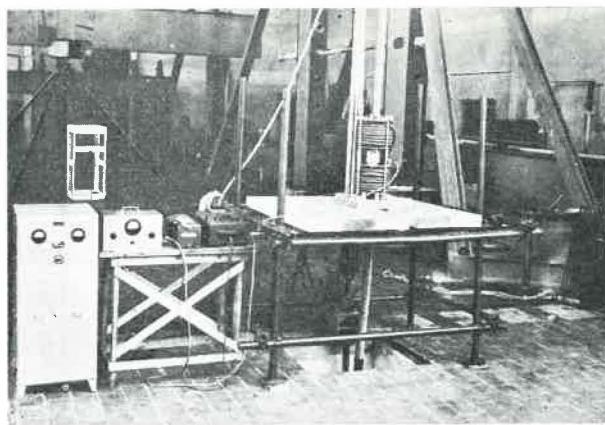


Fig. 22. — L'appareil A.C.M.I. et l'enregistreur.

Le principe en est le suivant :

Supposons un câble neuf magnétisé sur toute sa longueur; il existera un flux magnétique de fuite passant dans l'air au voisinage du câble.

Si l'on pouvait matérialiser ce champ dans l'air on trouverait une symétrie de révolution autour de l'axe longitudinal du câble.

Si un manque d'homogénéité se produit dans un ou plusieurs fils (rupture, indentation, corrosion...), la symétrie du champ sera rompue; autrement dit, et pour faire image, le champ en cet endroit présentera une bosse, bosse qui suit le câble dans tous ses mouvements.

Or, toute irrégularité d'un champ magnétique se décelé par un bobinage au voisinage duquel on fait défiler le champ. Ce bobinage, appelé bobine de mesure, enserme le câble et donne lieu à une force électromotrice en présence des défauts signalés plus haut.

En pratique, on ne magnétise pas le câble sur toute sa longueur, mais uniquement sur quelques décimètres; le bobinage de mesure se décompose en plusieurs bobines disposées pour obtenir des effets utiles tels que suppression des parasites, amplification des défauts internes par rapport aux défauts extérieurs, etc...

On a procédé, dans les laboratoires de l'A.I.B., à des vérifications sur un bout de câble comportant des défauts connus, et constaté que le diagramme obtenu était *éminemment reproductible* si l'on prend quelques précautions qui s'imposent. La figure 23 représente un diagramme type montrant la façon dont apparaissent divers défauts.

D'après ces essais, l'appareil fournit des *indications exemptes de parasites gênants* puisque n'apparaissent que des indications relatives à des défauts connus et existants (puisque'ils avaient été créés artificiellement) et *des indications d'une sensibilité convenable* puisque tous les défauts étaient perceptibles sur le diagramme enregistré.

De même, lors de relevés exécutés à la mine, la *fidélité* de l'enregistrement est apparue également

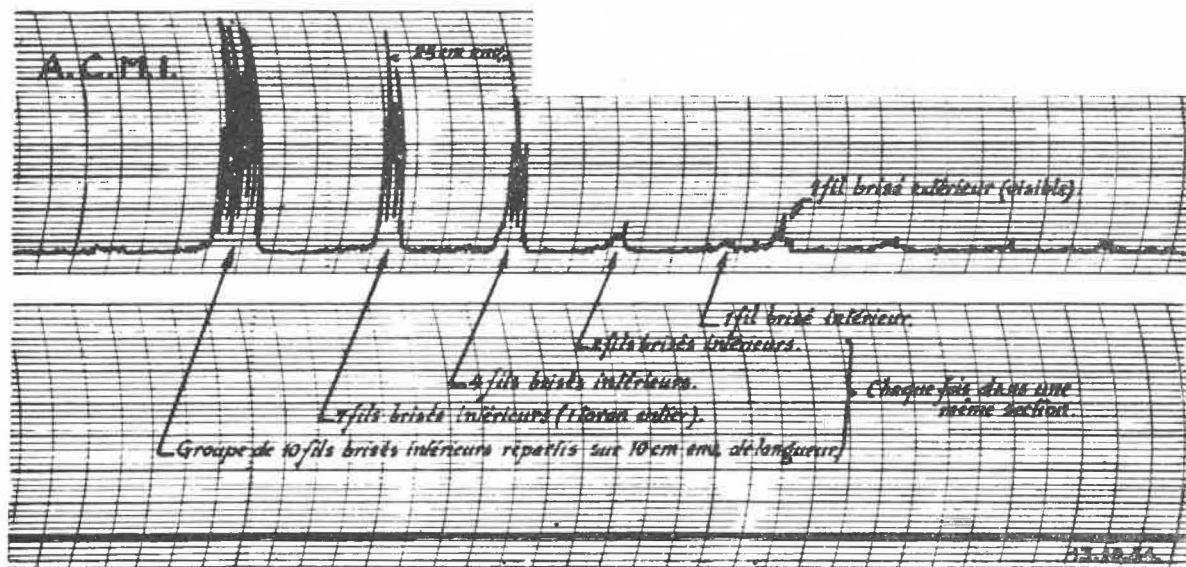


Fig. 23. — Diagramme type obtenu à l'A.C.M.I. aux essais de laboratoire.
Diagramme relevé le 13-10-54 sur un bout de câble présentant des fils brisés intérieurs et un fil brisé extérieur.

- 8 Un fil Z brisé, couche extérieure
- 7 Effets de corrosion imités en lûnant la face supérieure des fils Z de la seconde couche suivant un sillon circulaire sur toute la circonférence
- 6 Deux fils brisés de la seconde couche adjacents et se chevauchant
- 5 Un joint brisé, 2^{me} couche
- 4 Série de 6 fils brisés voisins dans la même section avec différents interstices
- 3 Fil Z de la seconde couche dont on a enlevé une partie de l'épaisseur, par meulage sur une longueur de 1"
- 2 Fissure fine dans la seconde couche avec bouts jointifs
- 1 Fil brisé dans la seconde couche avec intervalle de 1/4" entre bouts

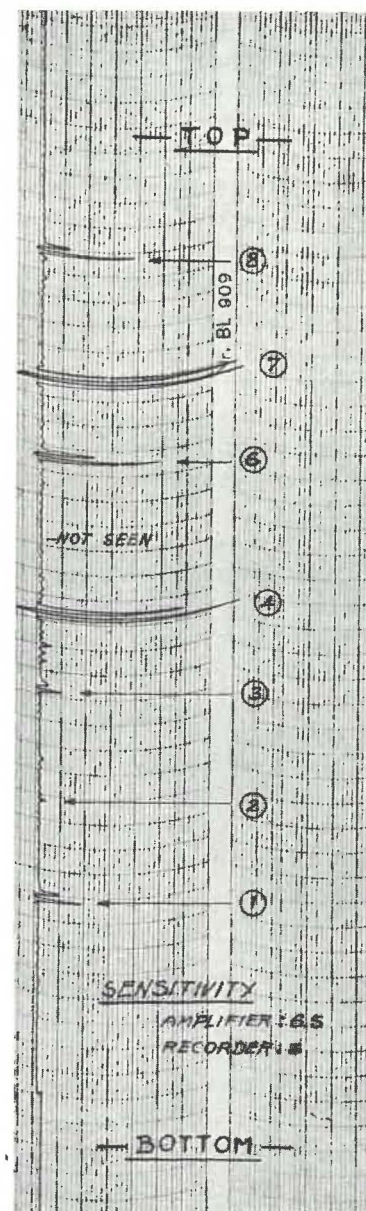
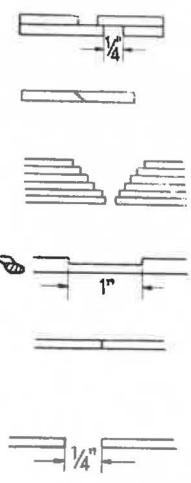


Fig. 24.

tout à fait convenable puisque le même enregistrement était obtenu à tous les essais, ainsi qu'aux relevés faits dans le sens inverse de marche du câble, comme on le verra plus loin.

Les qualités de sécurité, de fidélité et de sensibilité ont pu être vérifiées à la mine et les exemples suivants peuvent être cités à ce sujet.

On trouvera ci après comme premier exemple un extrait du procès-verbal d'essais effectués à Sheffield où les commentaires permettront de mieux comprendre la structure d'un enregistrement A.C.M.I.

« *Remarque préliminaire.* Tout signal est constitué par deux impulsions voisines sur le diagramme; ceci est une conséquence du redressement auquel est soumise la tension des bobines de mesure.

» *Interprétation du diagramme* (fig. 24).

» L'essai se rapporte à un câble clos de 45 mm de \varnothing . La vitesse de passage du câble est d'environ 75 cm/sec, mais elle ne reste pas constante. On considère le signal 8 qui représente un fil brisé de la couche extérieure et on prend la hauteur de ce signal comme repère pour juger des autres défauts. Ceci étant, lors d'un essai sur câble en service, on examine tous les points du câble où un signal est apparu afin de savoir si ce signal correspond à un défaut de la couche extérieure ou des couches intérieures.

» Comme la sensibilité de détection d'un défaut diminue avec la profondeur de celui-ci dans le câble, un défaut intérieur donnant un signal de même amplitude que le même défaut extérieur, sera plus important. La figure 25 illustre ce fait. L'amplitude donnée par une rupture de fil extérieur est prise égale à 1. Si un signal donne une amplitude 1, on examine le câble à cet endroit; si c'est un défaut visible (couche extérieure), il est facile de juger de la gravité; si c'est un défaut dans les couches intérieures, ce défaut est grave et d'autant plus grave qu'il est situé dans une couche profonde. Si le signal a une amplitude 0,5 il s'agit d'un défaut interne qui n'est pas grave. Si le signal est compris entre 1 et 0,5, il n'est pas grave au moment de l'essai, mais il y a lieu de répéter cet essai dans un délai assez court pour suivre l'évolution du défaut.

» On voit par la figure 25 qu'il ne faut pas espérer détecter couramment un défaut se trouvant dans la partie centrale du câble, bien qu'il soit arrivé de détecter de cette façon des ruptures d'âme où les fils brisés étaient très nombreux; heureusement, ce cas n'a pas d'importance pratique, car la force portante de la partie centrale de l'âme n'est pas importante.

» Il arrive également qu'en plus des impulsions isolées et relatives à des défauts bien localisés, on

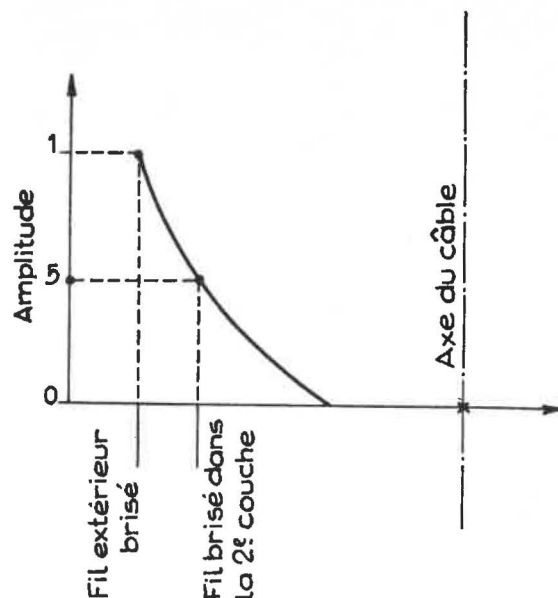


Fig. 25.

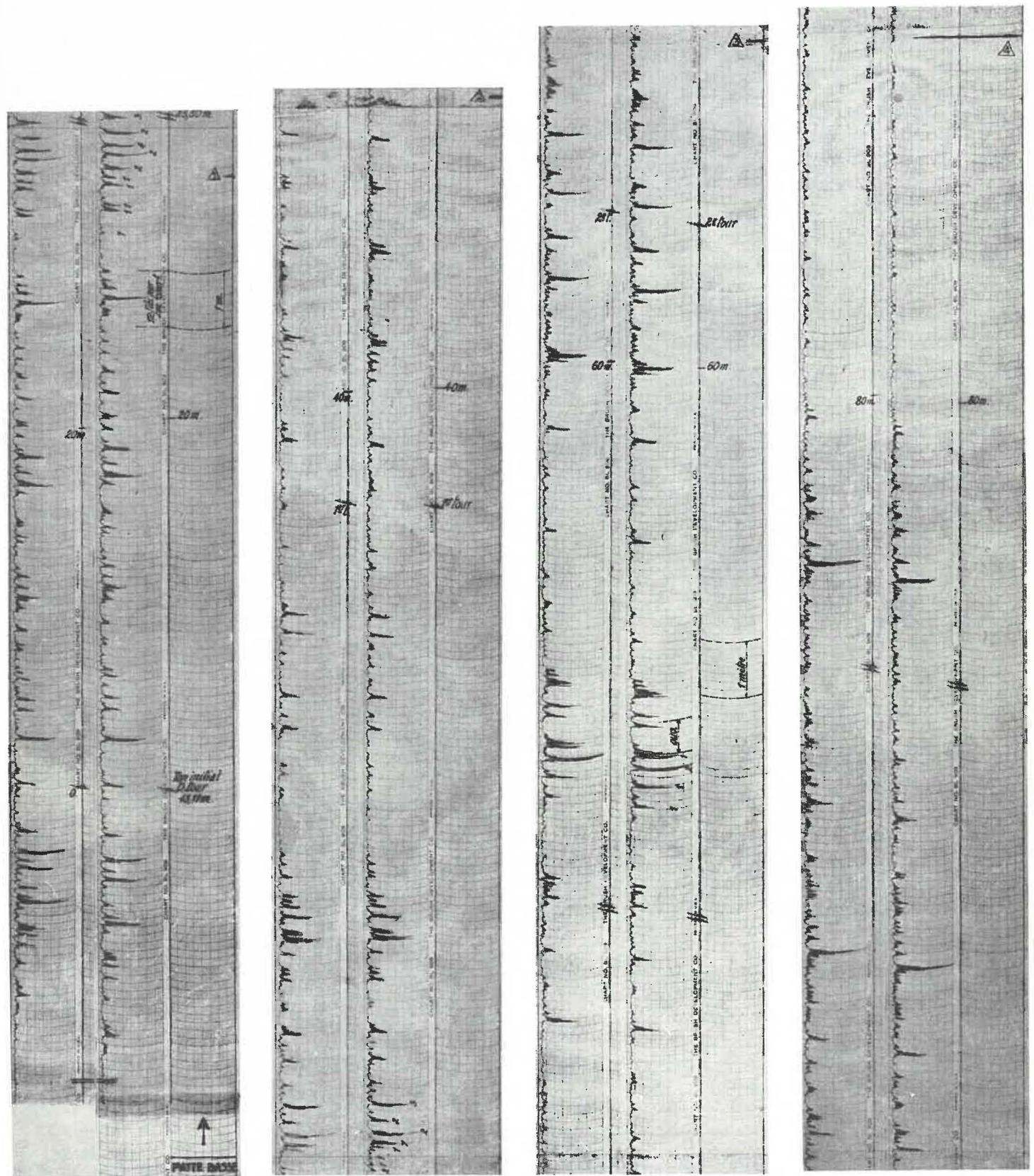
rencontre des oscillations très rapprochées et d'amplitude plus ou moins forte, ce qu'on a appelé « bruit de fond ».

» Ce bruit de fond rend compte des indentations et de la corrosion des fils et, à ce titre, est un facteur très important.

» Dans le diagramme figure 24, on peut interpréter comme suit les indications recueillies :

- » n° 8 amplitude 1 :
fil brisé extérieur (supposé connu);
- » n° 7 amplitude 1 :
défaut extérieur : non;
défaut intérieur : très grave nécessitant une inspection interne ou la dépose du câble;
- » n° 6 amplitude 1 :
défaut extérieur : non;
défaut intérieur : sans gravité réelle mais à surveiller ultérieurement;
- » n° 5 amplitude 0 :
non visible sur le diagramme, mais connu;
- » n° 4 amplitude 1 :
défaut extérieur : non;
défaut intérieur : id. 7;
- » n° 3 amplitude 0,5 :
défaut extérieur : non;
défaut intérieur : sans gravité, à surveiller lors des prochains essais;
- » n° 2 amplitude très faible :
à ne pas considérer;
- » n° 1 amplitude 0,5 :
défaut extérieur : non;
défaut intérieur : sans gravité immédiate mais à surveiller lors des prochains essais.

» *Remarque :* Le bruit de fond est très faible (voir entre défauts 1 et 2), ce qui témoigne de l'absence de parasites dus à l'appareil. Cependant, un



Diamètre câble : 61 mm Bobine, diamètre : 68 mm Vitesse : 70 cm/sec Sensibilité : Berthold = 8 Sensibilité : Brush = 5

Fig. 26.

léger bruit de fond existe entre les défauts 2 et 3, entre 3 et 4, entre 4 et 6, entre 6 et 7 et entre 7 et 8. Ce bruit de fond qui ne se rapporte pas à des défauts notables correspond à une très légère indentation.

Un second exemple traite d'un câble en service dans un charbonnage belge; ce câble présentait des ruptures de fils et l'on a procédé à un examen à l'A.C.M.I. afin d'avoir une représentation objective de l'état du câble.

Ancien Nouveau

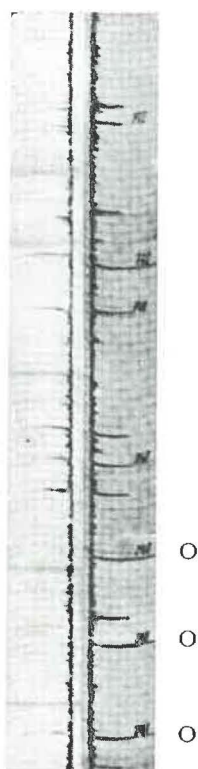


Fig. 27.
O = nouvelles ruptures.

Le diagramme 26 qui a trait à cet exemple est double, il montre deux enregistrements obtenus à quelques minutes d'intervalle et qui sont absolument identiques.

On reconnaît sur ce diagramme de nombreux signaux isolés correspondant à des fils brisés dont le nombre est représenté par le chiffre porté vis-à-vis de quelques signaux. On ne s'étonnera pas que des signaux relatifs à plusieurs fils brisés soient parfois moins importants que le signal correspondant à un fil brisé, car la position de la rupture, plus ou moins intérieure, affecte la grandeur du signal. Cet exemple prouve la *fidélité totale de l'appareil dans les conditions du contrôle à la mine*.

Un troisième exemple du même genre (fig. 27) montre deux diagrammes obtenus sur la même zone d'un câble en service en Belgique, mais à deux mois d'intervalle.

On voit que le diagramme le plus récent comporte des signaux supplémentaires par rapport au plus ancien, signaux correspondant à des ruptures fraîches. A part ce point, les deux diagrammes sont identiques de sorte que, vu la reproductibilité des indications, il en résulte que l'on peut *suivre les dégradations sur un câble en service en fonction du temps*.

Lors d'essais à la mine sur câbles en service, on se trouve généralement devant un diagramme montrant des signaux importants et isolés, qui correspondent à des ruptures locales de fils, et un « bruit de fond » qui représente l'importance de dégradations plus ou moins réparties telles qu'indentation, usure et corrosion.

En ce qui concerne les fils brisés, l'interprétation du diagramme ne souffre aucune difficulté et, chaque fois que l'occasion s'en est présentée, on a pu constater une parfaite corrélation entre la présence de fils brisés et les signaux isolés sur le diagramme. On peut dénombrer les fils brisés et, dans une certaine mesure, situer leur appartenance aux torons intérieurs ou extérieurs.

Pour les autres types de défauts, des difficultés d'interprétation peuvent naître du fait que le bruit de fond traduit à la fois trois types de défauts : indentation, usure et corrosion et que, de ce fait, il est difficile de préciser lequel de ces trois phénomènes est en cause.

Il arrive même des cas où, les corrosions étant très importantes, le bruit de fond qui les représente suffit à cacher les signaux isolés représentant les fils brisés; dans les débuts des essais, ce phénomène a rendu malaisée l'interprétation de certains diagrammes.

Cependant grâce à la technique de l'« ouverture » des câbles et grâce aux effilochages de tronçons choisis après dépose du câble, on a pu résoudre peu à peu le problème.

En fait, ce qui compte en dernière analyse, c'est d'abord de désigner l'endroit du câble le plus affecté et ensuite d'estimer la grandeur des dégradations en cet endroit pour arriver à la perte de résistance que le câble a subie, quel que soit le principal facteur de détérioration, indentation, usure, corrosion ou fils brisés.

Le premier point est d'ores et déjà acquis : *il a été démontré à de nombreuses reprises que l'endroit désigné comme le plus mauvais par l'A.C.M.I. était réellement celui présentant la moindre résistance réelle*. De même, il apparaît une relation bien nette entre la gravité de la dégradation locale et la densité présentée par le diagramme pour cet endroit du câble.

On peut citer l'exemple suivant à ce sujet, exemple qui a trait à un câble qui, à l'inspection A.C.M.I., montrait, en certaines zones, un bruit de

fond important; à la suite de cette constatation, il a été décidé d'enlever le câble et les essais mécaniques effectués sur divers tronçons ont montré que cette mesure était justifiée comme il est expliqué dans l'extrait des procès-verbaux d'essais S.C.E. n° 3/56 et P.G. n° 5/56 reproduit ci-après :

« *Caractéristiques du câble.*

- » Diamètre à l'état neuf : 64 mm;
- » Diamètre actuel : 61 à 62 mm;
- » Composition :
 - 12 × (9 × 3,09 + 9 × 1,73 + 1 × 3,51) — Croix à droite;
 - + 6 × (9 × 3,08 + 9 × 1,73 + 1 × 3,51) — Croix à gauche;
 - + 6 × (6 × 1,73 + 1 × 1,86);
 - + 1 (6 × 2,01 + 1 × 2,14) acier recuit;
 - (pas de textile intermédiaire).
- » Nature du fil : acier clair;
- » Charge de rupture calculée en tenant compte d'une perte au câblage de 10 % : 332.900 kg;
- » Charge unitaire moyenne de rupture des fils :
 - Fils Ø 3,08 mm : 200 kg/mm²;
 - 1,73 mm : 200 kg/mm²;
 - 3,51 mm : 182 kg/mm²;
 - 1,86 mm : 162 kg/mm²;

» *Conclusions.*

» Eu égard à la constatation faite dans la zone s'étendant de 99,50 m à 115 m de la patte nord, où le « bruit de fond » est très intense, nous avons estimé qu'une ouverture du câble serait à faire dans les prochains jours, entre 103,30 m et 104,80 m, endroit des signaux maxima enregistrés.

» Ce câble approchant des 18 mois de service et une dérogation devant actuellement être sollicitée pour pouvoir fonctionner à la translation du personnel, sans essai à la patte, au delà des 18 mois, vous avez jugé préférable de remplacer le câble plutôt que de faire l'ouverture et de solliciter la dérogation. »

L'endroit incriminé dans les conclusions ci-dessus est illustré à la figure 28 qui représente la portion de diagramme y relatif où l'on remarque réellement un bruit de fond beaucoup plus important qu'ailleurs.

De ce tronçon, on a prélevé des bouts de câbles qui ont été soumis aux essais mécaniques et à l'effilochage dont on trouvera les résultats dans l'extrait du rapport P.G. 5/56 ci-après :

« Les planches 1 à 7 et 2bis, ci-annexées, donnent la répartition des rupture de fils pour chaque couche de torons, dans l'étendue de la longueur de câble effilochée, soit 1 m (1,50 m pour le bout 2bis).

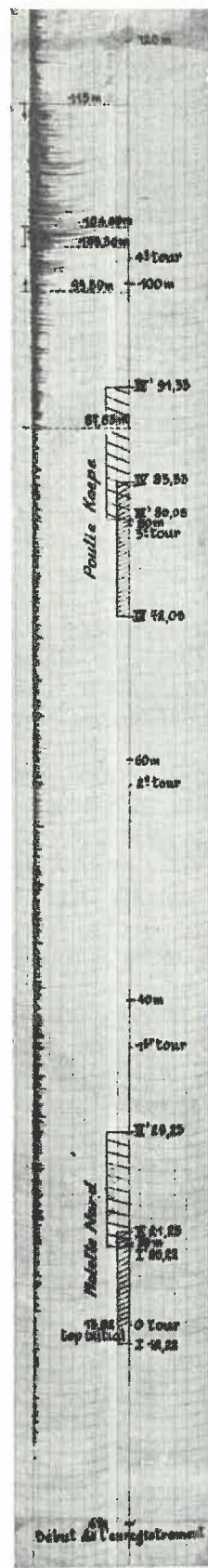


Fig. 28.

» La planche 2bis, relative au bout de câble 2bis prélevé de 103,30 m à 104,80 m, endroit où les signaux maxima ont été enregistrés sur le diagram-

me, montre que 40 fils brisés \varnothing 3,08 mm se trouvaient dans la couche extérieure de torons, sur 1,50 m de longueur, ce qui représente donc 27 ruptures sur 1 m. Après démontage de cette couche extérieure de torons, la deuxième couche de 6 gros torons apparaissait en très mauvais état (indentation et corrosion) et criblée de ruptures; elle n'a pas été effilochée. Les figure 29 et 30 montrent l'aspect de cette deuxième couche de torons. »

On trouvera ci-après la planche 2bis mentionnée ci-dessus, ainsi que la planche 2 qui complète les informations de cette dernière en ce qui concerne l'état des torons intérieurs et où l'on voit que le câble se trouvait fortement dégradé comme le suggérait le diagramme.

La planche 1 par contre représente l'état du câble au voisinage de la patte, là où le diagramme A.C.M.I. montrait un bruit de fond très faible (fig. 28); on remarque qu'effectivement les dégradations se limitent à des fils brisés dans la couche intérieure de 6 petits torons.

Il résulte de ceci que le diagramme A.C.M.I. représente d'une façon indiscutable l'état de dégradation d'un câble, quelle que soit la cause de cette dégradation.

De plus, il résulte des essais mécaniques que le bout 1 avait perdu 4,4 % de sa résistance, tandis que le bout 2 en perd 42 %.

Le but que l'on s'était fixé de déterminer les endroits les plus dégradés d'un câble est, non seulement pleinement atteint, mais il semble même qu'on puisse en arriver à traduire le diagramme obtenu en perte de résistance. Les recherches dans cette voie se poursuivent, mais il est évidemment nécessaire d'accumuler une importante quantité d'informations avant de donner à cette question la réponse formelle que l'on peut espérer des remarques ci-dessus.

- Ruptures fils \varnothing 3,08 mm
 - Ruptures fils \varnothing 1,73 mm + 2,01 mm
 - × Ruptures fils \varnothing 3,51 mm + 1,86 mm + 2,14 mm
- 67-77 Distances, en cm, des ruptures de fils à l'origine du tronçon effiloché

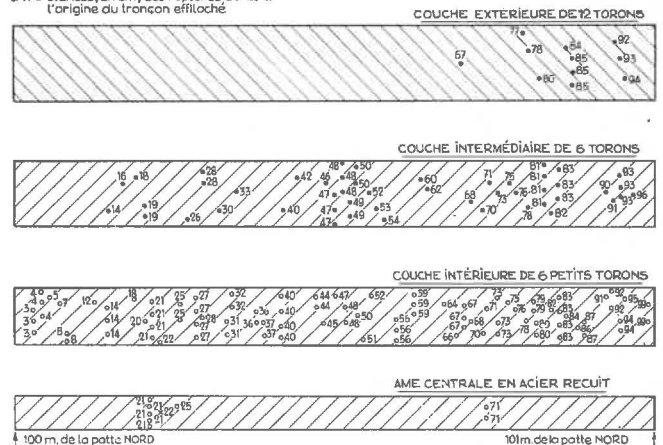


Planche 2 annexée au rapport P.G.5 du 51-3-1956.
Bout 2 prélevé de 100 à 110 m de la patte nord.

- Ruptures fils \varnothing 3,08 mm
 - Ruptures fils \varnothing 1,73 mm + 2,01 mm
 - × Ruptures fils \varnothing 3,51 mm + 1,86 mm + 2,14 mm
- 67-77 Distances, en cm, des ruptures de fils à l'origine du tronçon effiloché

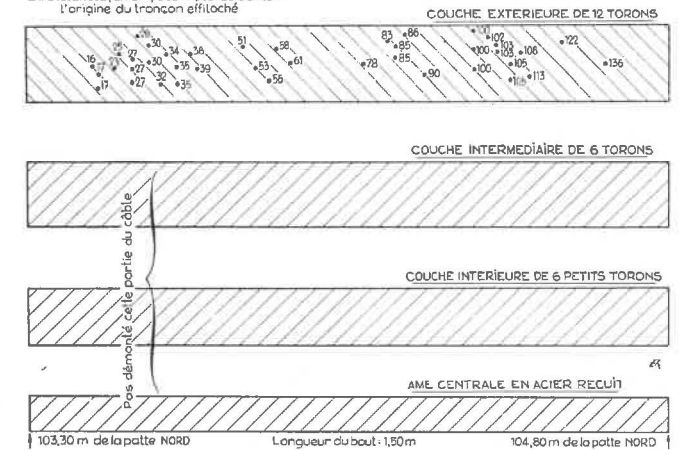


Planche 2bis annexée au rapport P.G.5 du 51-3-1956.
Bout 2bis prélevé de 100 à 110 m de la patte nord.

- Ruptures fils \varnothing 3,08 mm
 - Ruptures fils \varnothing 1,73 mm + 2,01 mm
 - × Ruptures fils \varnothing 3,51 mm + 1,86 mm + 2,14 mm
- 21-30 Distances, en cm, des ruptures de fils à l'origine du tronçon effiloché

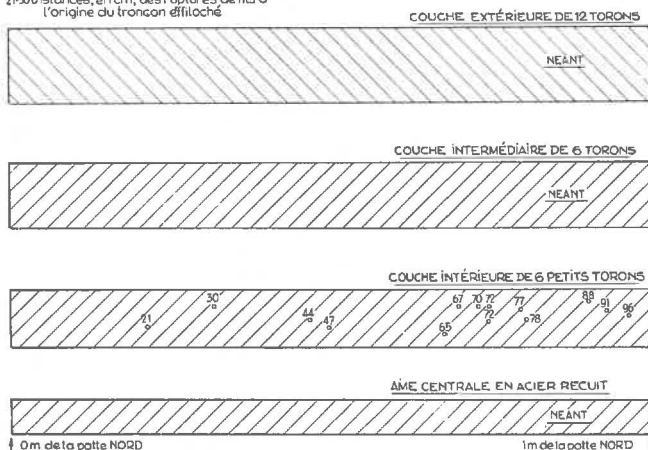


Planche 1 annexée au rapport P.G.5 du 51-3-1956.
Bout 1 prélevé immédiatement au-dessus de la patte nord.

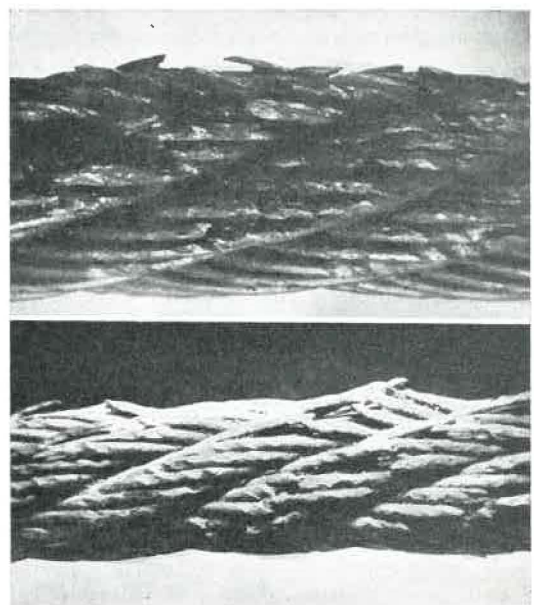


Fig. 29 et 30. — Aspect des couches de torons intérieurs dans une zone signalée comme défectueuse par l'A.C.M.I.

Dans l'état actuel des choses, quelques recoupe-ment préliminaires nous permettent d'affirmer qu'il sera possible de mesurer la perte de résistance d'un câble en partant du diagramme A.C.M.I. et ce, avec une précision de l'ordre de 5 à 10 %.

Les essais à l'A.C.M.I. sont d'ores et déjà des essais de routine largement pratiqués en Belgique et qui ont retenu l'attention de certains charbonnages étrangers.

Ces essais n'ont pas éliminé les inspections périodiques des câbles par des agents-visiteurs spécialisés, mais les résultats obtenus aident considérablement ces derniers dans leur mission de surveillance.

Il est possible, en procédant périodiquement à l'examen magnétique d'un câble et en comparant les résultats obtenus, de « suivre » l'extension des dégradations et de prendre les mesures nécessaires en temps utile pour éviter tout accident grave.

CONCLUSION

Les essais confirment les qualités essentielles de reproductibilité et de sensibilité de la méthode appliquée à la mine, caractères déjà établis antérieurement en laboratoire.

Il convient surtout de remarquer l'absence totale de parasites qui caractérise cet appareil de sorte que tout signal enregistré correspond nécessairement à une particularité du câble.

Revenant au cadre général de l'inspection des câbles, les résultats présentés ci-dessus permettent d'y inclure les examens nouveaux suivants, qui viennent s'ajouter au programme normal et le compléter.

Lors de la mise en service d'un nouveau câble, un examen au *décéléromètre* permettra de mettre en évidence les irrégularités de fonctionnement de l'installation et de prévenir des détériorations prématurées du câble. Cet examen donnera en outre la grandeur des efforts réels dans le câble, ce qui permettra d'accéder avec une bonne approximation au coefficient réel de sécurité.

Après quelques mois de service, le câble « encore jeune » subira un examen à l'A.C.M.I. qui fournira le diagramme de base auquel les diagrammes suivants seront comparés et qui fournira des indications à l'agent-visiteur sur les endroits où s'amorcent les dégradations.

Dès que le câble a atteint les 6/10^{me} de sa durée de vie présumée et au plus tard au 17^{me} mois de fonctionnement, on procédera à un nouvel examen A.C.M.I. qui sera répété périodiquement à des intervalles ne dépassant pas 3 mois et ensuite réduits à 2 mois au maximum.

Ces règles sont apparues comme les plus adéquates à la suite de trois années d'essais à la mine avec l'appareil A.C.M.I., mais néanmoins, il est évident que les circonstances du moment seront déterminantes pour décider d'un examen à l'A.C.M.I. à tout instant.

Il faut retenir que l'appareil A.C.M.I. ne doit pas être considéré comme susceptible de remplacer purement et simplement le visiteur du câble qui reste le cerveau du programme d'inspection; cet appareil est un outil d'un intérêt exceptionnel, mais n'est qu'un outil destiné à aider objectivement le visiteur et à supprimer la subjectivité qui existait encore jusqu'à présent dans le contrôle des câbles.