

# Considérations sur le fonctionnement, les essais et la surveillance des câbles d'extraction à grande profondeur, en Afrique du Sud

par J. VERWILST

Ingénieur Civil des Mines,

Chef de Service à l'Association des Industriels de Belgique.

## SAMENVATTING

*In Zuid-Afrika zijn ongeveer twee duizend ophaalkabels in gebruik. Een zo grote concentratie van ophaalinrichtingen is merkwaardig en heeft aanleiding gegeven tot een ruime ondervinding en tot een wetgeving die aandachtig is voor de noden van een voortdurende vooruitgang.*

*Aangezien alle belangrijke karakteristieken van de extractie er actueel zijn, zoals bijvoorbeeld de extractie op grote diepte, vormt dit land een rijke bron van voorbeelden en van waardevolle inlichtingen op beschouwd gebied.*

*Meest alle inrichtingen zijn in werking in de Staat van Transvaal en in de Oranje-Vrijstaat. De diepste mijnen zijn de goudmijnen. Verscheidene ontginningen bereiken nagenoeg de diepte van 3.000 m.*

*Het typisch schema van de diepe werkplaatsen is het volgende: vertrekkend van de bovengrond, een verticale schacht, waarvan sommige rechtstreeks tot 2.000 m afdalen; een hellende binnenschacht van verscheidene honderden meter vanaf de laadplaats van de hoofdschacht, gevolgd door een hellende galerij. Sommige ontginningen hebben slechts twee schachten; een verticale en een subvertikale. Andere hebben alleen een hoofdschacht en een hellend vlak.*

*Vooreerst wordt een kort overzicht gegeven van de bestaande wetgeving, beperkt tot de onderwerpen die ons aanbelangen. Vervolgens worden de verschillende typen van kabels in ogenschouw genomen, de destructieve laboratoriumproeven, de controle in dienst en de niet destructieve methodes. Ten slotte volgen enkele gegevens aangaande zekere type-installaties.*

*Tevens worden ter vergelijking enkele gegevens verstrekt betreffende Belgische ophaalinrichtingen.*

### 1. — Introduction.

Environ deux mille câbles d'extraction sont en service actuellement en Afrique du Sud. Une concentration aussi importante d'installations d'extraction est vraiment remarquable. C'est ainsi qu'une très grande expérience a été acquise dans ce domaine et a fait l'objet d'une législation attentive aux besoins et progrès constants. Comme toutes les caractéristiques importantes de l'extraction y sont d'actualité, telle que l'exploitation à grande profondeur par exemple, ce pays présente donc des sources d'exemples et de renseignements de valeur dans le domaine envisagé.

La presque totalité des installations sont en service dans l'Etat de Transvaal et dans l'Etat Libre d'Orange. Les mines les plus profondes sont les

mines d'or. Plusieurs exploitations voisinent la côte de moins 3.000 m.

Le schéma type des chantiers profonds est le suivant, en partant de la surface: un puits vertical dont certains extraient directement à plus de 2.000 m; un puits subvertical (burquin exploitant sur une profondeur de plusieurs centaines de mètres à partir de la recette inférieure du puits vertical) et ensuite un plan incliné. Certaines exploitations ne comporteront que deux puits, un vertical et un subvertical et un puits incliné.

Au cours de cet exposé, il sera tout d'abord donné un bref aperçu de la législation en vigueur limitée au point de vue qui nous occupe, ensuite seront examinés les types de câbles utilisés, les essais destructifs des câbles en laboratoire, la surveillance

en service et l'emploi de méthodes non destructives. Quelques données caractériseront enfin des installations types.

Il sera en même temps présenté quelques renseignements comparatifs sur les installations d'extraction belges.

**2. — La législation.**

La Législation portant sur l'exploitation des mines et les installations industrielles est dictée par le: « Mines and Works Act of the Union n° 12 de 1911 » complété et amendé depuis par de nombreuses circulaires gouvernementales (Government Notices). L'ensemble de cette législation est publié dans « The Mines Works and Machinery Regulations » [1].

Elle stipule notamment les coefficients de sécurité à respecter, les essais destructifs et les contrôles imposés aux câbles. Nous reproduisons ci-dessous les extraits de l'article 34 de cette réglementation traitant des coefficients de sécurité.

« Art. 34. — a) Lorsque le système d'extraction est tel qu'il permet les essais périodiques sur le câble tels qu'ils sont prescrits à l'art. 37 et lorsqu'un câble d'équilibre ou câble queue n'est pas utilisé, aucun câble d'extraction ne peut être mis en service pour le transport de personnes ou de matériel, si la charge de rupture en tout point du câble est inférieure à l'une des cinq conditions suivantes:

1) dix fois la charge effective des poids combinés de la cage et de ses attaches et du nombre maximum de personnes autorisées ou de la charge en matériel, ou

2) neuf fois la charge effective des poids combinés de celui de la cage et de ses attaches et de la charge maximum admise en produits utiles, ou

3) cinq fois la charge effective des poids combinés de celui du câble situé entre la molette et le point maximum inférieur de travail de la cage, du poids de la cage et de ses attaches et du poids du nombre maximum de personnes autorisées ou de la charge en matériel, ou

4) quatre fois et demie la charge effective des poids combinés de celui du câble situé entre la molette et le point maximum inférieur de travail de la cage, du poids de la cage et de ses attaches et de la charge maximum admise en produits utiles, ou

5) Les neuf-dixièmes de la charge de rupture initiale du câble. La charge effective sera la charge statique dans le cas d'un câble opérant dans un plan vertical et de 1,05 fois la composante verticale de la charge statique dans le cas d'un câble opérant dans un plan incliné.

Le mot « attaches » comprend tout ce qui est suspendu ou attaché à la cage, autre que le câble proprement dit.

b) Lorsque le système d'extraction est tel qu'il permet les essais périodiques sur le câble, tels qu'ils

sont prescrits à l'art. 37 et lorsqu'un câble d'équilibre ou un câble queue est utilisé, aucun câble d'extraction ne peut être mis en service pour le transport de personnes ou de matériel, si la charge de rupture en tout point du câble est inférieure à celle autorisée par l'Ingénieur de l'Inspection Gouvernementale des Mines ou les neuf-dixièmes de la charge de rupture initiale du câble, quelle que soit la plus élevée.

c) Lorsque le système d'extraction est tel qu'il ne permet d'effectuer les essais périodiques sur le câble tels qu'ils sont prescrits par l'art. 37, aucun câble d'extraction ne peut être mis en service pour le transport de personnes ou de matériel si la charge de rupture en tout point du câble est inférieure à une fois et demie celle spécifiée aux sous-paragraphes 3 ou 4 du paragraphe c) ci-dessus ou aux neuf-dixièmes de la charge de rupture initiale du câble, quelle que soit la plus élevée, étant entendu que l'Ingénieur de l'Inspection Gouvernementale des Mines peut, tenant compte de la profondeur d'extraction ou du fait que l'installation est à câbles d'extraction multiples, admettre l'emploi d'un câble d'extraction, sur une telle machine, ayant toute charge de rupture inférieure qu'il jugerait de spécifier.

d) Lorsqu'une machine d'extraction non affectée au transport de personnes ou de matériel opère dans un puits ou burquin où du personnel est régulièrement transporté, aucun câble ne sera utilisé sur une telle machine d'extraction si la charge de rupture en tout point du câble est inférieure au minimum autorisé pour les câbles utilisés sur les machines d'extraction répondant aux paragraphes a), b), c) ci-dessus.

e) Aucun câble d'équilibre ou câble queue ne sera mis en service sur une machine d'extraction

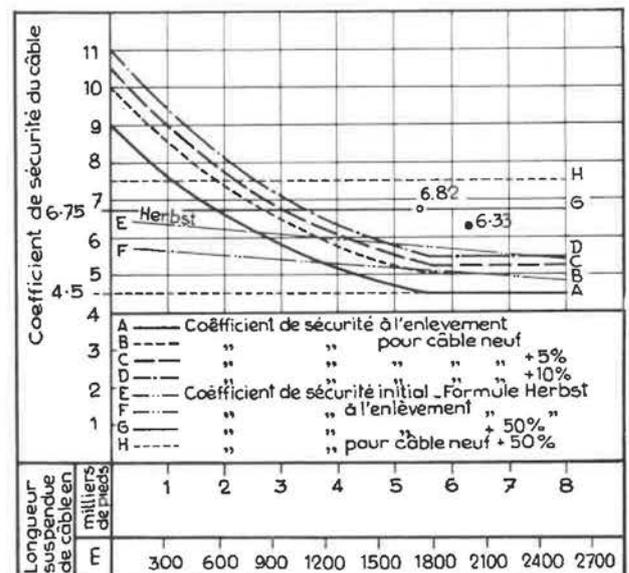


Fig. 1. — Coefficients de sécurité des câbles pour l'extraction du minéral.

opérant dans un puits ou burquin où du personnel est régulièrement transporté si la charge de rupture en tout point du câble est inférieure à six fois la charge effective des poids combinés du câble ou du chariot tendeur éventuel, ou inférieure aux neuf-dixièmes de la charge de rupture initiale du câble, quelle que soit la plus élevée ».

Cet article est entré en vigueur le premier janvier 1956 et prescrit, lorsque les essais à la patte ne pourront plus être exécutés (installation Koepe), d'augmenter de 50 % les coefficients de sécurité (droites G et H de la figure 1).

La figure 1 réunit sur un diagramme les conditions imposées. Elle est extraite d'une communication de L. T. Campbell Pitt, F. G. Zeppenfeld et W. P. Hallet [2]. Les courbes C et D sont proposées dans cet exposé pour atténuer les rigueurs de cette nouvelle réglementation relevant de 50 % les coefficients de sécurité pour les installations Koepe. Les auteurs justifient ces courbes C et D de la façon suivante : « Nous avons l'impression qu'il ne faut pas abandonner à la légère la méthode de détermination des coefficients de sécurité d'après les règlements sud-africains. Ces coefficients de sécurité se sont révélés tout-à-fait satisfaisants pour les conditions régnant ici.

Nous considérons qu'avec les méthodes améliorées et plus sûres de contrôle non destructif, les conditions de fonctionnement du câble Koepe unique sont au moins comparables à celles pour le câble d'extraction fonctionnant par tambour. Dans le cas d'installation Koepe multicâbles, on pourrait admettre une certaine tolérance dans le coefficient de sécurité global pour tenir compte d'une répartition inégale de la charge entre les différents câbles et nous avons donc augmenté le coefficient global de 5 % pour une installation Koepe à 2 câbles et de 10 % pour une installation Koepe à 4 câbles » [2].

Des assouplissements ont déjà été admis (\*).

L'Ingénieur de l'Inspection Gouvernementale des mines a autorisé, dans deux cas, des coefficients de sécurité K inférieurs à ceux prévus à la réglementation pour lesquels une requête avait été introduite. Ce sont les points 6,82 et 6,33 représentés à la figure 1, qui tombent en dessous du facteur 7,5 qui, sans cela, aurait dû être appliqué pour ces cas.

Les auteurs comparent les différentes courbes obtenues avec les droites des formules du Docteur Herbst. Rappelons que ces formules sont :

— Translation du personnel :  $K = 9,5 - 0,001 T$ .

— Translation de minerai :  $K = 7,2 - 0,0005 T$ .

T étant la profondeur d'extraction en mètres [3].

Tout nouveau câble ne peut être mis en service qu'après avoir subi un essai mécanique de rupture

sur une éprouvette entière d'au moins six pieds de longueur. Cet essai doit être effectué dans le Laboratoire Mécanique du Département des Mines. Les certificats reconnus des pays étrangers sont acceptés et dispensent d'un nouvel essai aux Laboratoires de l'Etat.

Art. 37 - 6 : « Au moins tous les six mois, l'attache sera renouvelée et une portion d'une longueur d'au moins six pieds sera coupée à cette occasion à la partie inférieure. »

Cette portion de câble doit être envoyée pour essais au Laboratoire Mécanique du Département des Mines. Un certificat attestant les résultats est envoyé à l'utilisateur. Les frais de ces essais sont à sa charge.

Les coefficients de sécurité à la pose sont donc calculés sur les charges de rupture de l'essai de traction sur éprouvette entière (\*).

Les dispositions en ce qui concerne les inspections régulières des câbles sont prévues par l'art 37. Elles précisent que le Directeur en charge des installations minières doit désigner par écrit une personne ou des personnes compétentes en vue d'examiner les câbles.

Au moins chaque jour, le câble d'extraction, ses attaches, ainsi que les différents dispositifs de sécurité et accessoires du système d'extraction, seront examinés visuellement.

Au moins chaque mois calendrier et à des intervalles ne pouvant dépasser 45 jours, un Ingénieur diplômé examinera le câble en vue de se rendre compte de son état de détérioration. Dans ce but, le câble devra être complètement nettoyé aux places choisies par l'Ingénieur. Toute réduction de la circonférence du câble, l'état des fils, ainsi que leurs usure, corrosion, rupture, fragilité ou toute autre donnée nécessaire à l'évaluation de l'état du câble, seront consignées. Notification de la désignation de cet Ingénieur sera communiquée au Directeur de l'Inspection Gouvernementale des Mines.

Ces principales stipulations conditionnent l'exploitation des câbles et leur surveillance. Elles sont propres aux installations utilisées en Afrique du Sud qui sont toutes, à l'exclusion de quelques-unes en cours de montage, du système à tambour.

### 3. — Les câbles utilisés.

Au début de l'année 1956, à quelques exceptions près, toutes les machines d'extraction étaient du type à tambour. Quelques installations en service

(\*) Les coefficients de sécurité admis en Belgique sont de 8 au placement et 6 à la dépose. Des dérogations sont accordées dans certaines conditions et des exploitations fonctionnent avec des coefficients plus bas. Les coefficients les plus bas accordés actuellement sont, pour une exploitation, 6 au placement, 5 à la dépose. Il est à noter que ces coefficients sont calculés en Belgique, soit sur la charge de rupture effective du câble, soit sur la charge de rupture calculée.

(\*) Sur avis motivé de l'Ingénieur de l'Inspection Gouvernementale des Mines pour les installations en service et non conformes à cette date.

ou en cours de montage étaient du type Koepe monocâble ou multicâble. Dans les projets des nouvelles installations, le type Koepe semble rencontrer beaucoup de partisans. Cependant, les services techniques des grosses compagnies minières sud-africaines ne s'engageront progressivement dans cette voie qu'après une expérience satisfaisante sur les nouvelles installations.

En effet, celles qui existent donnent pleinement satisfaction et une grande expérience est acquise dans ce domaine.

Le type de câble utilisé en extraction est le câble à torons triangulaires préformés. L'âme du câble est en chanvre ou sisal. Ce câble, dans la plupart des cas, est giratoire et est généralisé dans toute l'industrie minière en Afrique du Sud.

Les câbles antigiratoires sont utilisés pour tous les fonçages.

Ces câbles sont, pour la plupart, fabriqués en Afrique du Sud.

Les Sud-Africains sont d'avis que les câbles à torons triangulaires présentent les grands avantages suivants :

— leur section présente une densité d'acier élevée, ce qui a une répercussion directe sur le diamètre du câble ;

— leur surface extérieure résiste mieux à l'usure ;

— plus de 50 % de la résistance des câbles reposent dans les fils extérieurs. Cette caractéristique permet de suivre facilement l'état du câble ;

— les pressions spécifiques sur les systèmes d'enroulement sont moindres.

Dans les installations Koepe, l'usage de ce type de câble sera conservé.

Les plus gros câbles actuellement utilisés présentent un diamètre de 59 mm, avec une charge de rupture effective d'environ 250 tonnes et d'un poids de 14,5 kg/m. Des câbles plus gros, sont fabriqués, mais ne sont pas utilisés dans l'Union Sud-Africaine (Rhodésie).

A titre indicatif, voici la composition d'un câble récemment placé :

- longueur : 2.180 m
- diamètre : 50,8 mm
- charge de rupture effective : 184 tonnes
- acier : 188 kg/mm<sup>2</sup>
- composition : 6 torons triangulaires de 32 fils.  
14 × 3,20 + 12 × 2,35 + 6 × 2,10 (∅ en mm)
- + 1 âme centrale en textile.

Les câbles les plus couramment utilisés présentent des diamètres variant entre 38 et 51 mm.

Les nuances d'acier généralement employées sont 170-190 kg/mm<sup>2</sup> pour les câbles jusque 44 mm de diamètre, 180-196 kg/mm<sup>2</sup> pour les câbles d'un diamètre supérieur à 44 mm.

Il y a de nombreuses exceptions à cette tendance.

Dans la plupart des cas, on emploie des fils non galvanisés, même où les phénomènes de corrosion se ressentent activement.

Certains câbles constitués de fils d'acier d'une résistance de 196/200 kg/mm<sup>2</sup> ont eu un heureux comportement, alors que l'usure et les modes d'enroulement sur les machines utilisées sont plus sévères que si ces câbles étaient utilisés sur un système Koepe.

L'acier est élaboré par le procédé Duplex, combinaison d'acier Bessemer acide et de four Martin basique [4].

— Carbone	0,72 à 0,87 %
— Manganèse	0,70 à 0,90 %
— Phosphore	0,02 % maximum
— Soufre	0,02 % »
— Silicium	0,30 % »

Signalons que les câbles ronds les plus utilisés en Belgique sont des câbles Nufflex dont le diamètre varie entre 55 et 70 mm et ayant les compositions suivantes :

— 12 × (9 + 9 + 1)
+ 6 × (9 + 9 + 1)
+ 6 × (6 + 1)
+ 1 âme centrale en acier recuit
— 12 × (12 + 6 + 6 + 6 + 1)
+ 6 × (12 + 6 + 6 + 6 + 1)
+ 6 × (5 + 1)
+ 1 âme centrale en acier recuit
— 17 × (6 + 1)
+ 11 × (6 + 1)
+ 6 × (6 + 1)
+ 1 âme centrale en acier recuit
— 12 × (10 + 5 + 5 + 5 + 1)
+ 6 × (10 + 5 + 5 + 5 + 1)
+ 6 × (6 + 1)
+ 1 âme centrale en acier recuit

Le diamètre des plus gros fils atteint 3,10 et les charges unitaires de rupture dépassent souvent 200 kg/mm<sup>2</sup> pour atteindre 220 kg/mm<sup>2</sup>.

On voit que la charge de rupture unitaire a tendance à augmenter quand le diamètre augmente. Cela résulte de la nécessité d'augmenter la charge de rupture du câble quand la charge d'extraction et quand la profondeur des puits augmentent. Le même phénomène se manifeste en Belgique. Toutefois, le recours aux installations à multicâbles vient à point pour mettre une limite aussi bien aux diamètres croissants des câbles qu'à l'augmentation de la charge de rupture unitaire des fils.

#### 4. Essais des câbles en laboratoire [5]

Tous les câbles sont essayés aux Laboratoires de l'Etat, à Cottesloe (Johannesburg). Ces essais comportent une rupture d'une éprouvette entière du câble, suivie d'un examen visuel du câble et des fils. Il n'est pas procédé à des essais mécaniques sur les fils. Pour subir l'essai de traction, les éprouvettes sont préparées avec le plus grand soin.

Elles sont coupées à des longueurs  $L + 2a$  standard, fonction de leur diamètre  $D$ .

Le laboratoire demande que les éprouvettes soient envoyées avec une petite surlongueur. Elles sont alors mises à dimension en les coupant au moyen d'une scie constituée par un disque lisse en métal extra-doux, tournant à une grande vitesse. A l'encontre du chalumeau, cette façon de procéder évite de chauffer les éprouvettes.

Les attaches des éprouvettes dans la machine de traction s'opèrent par cônes coulés en métal blanc. L'élaboration de ces cônes ou culots est exposée ci-après.

#### 4.1 Préparation des culots.

Un collier en métal blanc est tout d'abord confectionné dans un moule. Il servira de support au métal blanc lors de la coulée du cône. La figure 2

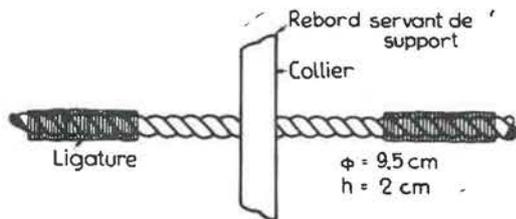


Fig. 2.

reproduit schématiquement ce collier. Parfois un manteau d'asbeste est intercalé entre le câble et les colliers, spécialement sur les câbles ronds de gros diamètres.

Le câble est détourné suivant un processus bien défini. Un grand soin est apporté au nettoyage du chignon. Il s'opère suivant une méthode qui reste la même pour toutes les éprouvettes devant subir l'essai de traction.

La composition du métal blanc est la suivante :

- étain : 20 %
- antimoine : 10 %
- plomb : le reste.

Le métal blanc est élaboré dans un petit four chauffé électriquement et dont la température est réglée automatiquement et maintenue rigoureusement à 300° C.

Les dimensions des éprouvettes, ainsi que la position des culots sur les éprouvettes, doivent être toujours les mêmes pour chaque type de câble afin que les essais successifs puissent être comparatifs tant sur les charges que sur les allongements.

Trois types d'éprouvette standard permettent d'essayer tous les câbles. Le type de l'éprouvette est fonction du diamètre du câble. Les éprouvettes sont caractérisées par trois facteurs (fig. 3) :

- $L$  : longueur d'épreuve de l'éprouvette
- $a$  : longueur culottée
- $l$  : longueur non culottée.

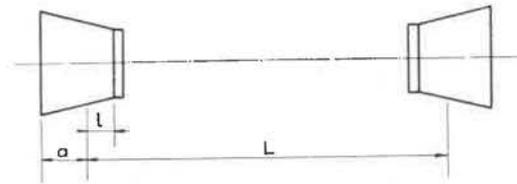


Fig. 3.

Les éprouvettes sont amarrées dans la machine par des culots. Il existe cinq types standard de culots qui sont déterminés également par le diamètre du câble. La figure 4 montre les facteurs caractérisant les culots. L'angle de 11° est constant pour tous les types de culots.

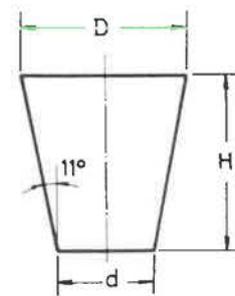


Fig. 4.

$H$  : hauteur du culot.

$D$  et  $d$  : grand et petit diamètres.

Rappelons que la notice A.I.B. n° 366/C.E.M.T. 11 décrit l'élaboration des culots employés en Belgique.

Le métal blanc employé est le zinc pur.

#### 4.2 Machine de traction.

Les essais s'effectuent sur une machine de traction horizontale de 500 tonnes Mohr et Federhaff. Les éprouvettes sont étirées à raison de 1 à 2 pouces par minute.

Au commencement de l'essai, la mise en charge est de 2 t/sec, tandis qu'en fin d'essai elle est de 1 t/sec. Ces valeurs sont fonction des diamètres des câbles et ne donnent qu'un ordre de grandeur.

#### 4.3 Exécution de l'essai de traction.

Lors de l'essai, un diagramme effort-allongement est enregistré en deux exemplaires : l'un à destination de l'usager, l'autre à destination du laboratoire (fig. 7).

Les résultats sont consignés sur un formulaire. Ce dernier reprend toutes les caractéristiques intéressant le câble. La figure 5 reproduit la partie supérieure du formulaire. La partie inférieure est réservée aux observations opérées au cours de l'essai.

DETAILS DU CÂBLE		
Notes : 1. Une étiquette en fer blanc portant les détails soulignés ci-dessous sera fixée à l'échantillon.		
2. La désignation du compartiment doit être conforme aux indications du Certificat de l'Installation d'Extraction.		
3. * Barrer les désignations qui ne conviennent pas.		
Echantillon fourni par .....		
Nom du fabricant .....		
Date de fabrication .....	Date de pose .....	
Nom du puits .....	Type de puits* : Vertical, Combiné, Incliné .....	
Nom du compartiment .....	Longueur d'extraction (pieds) .....	
N° du certificat de l'installation d'extraction .....		
N° du rouleau de câble .....		
Longueur du câble (pieds) .....	Poids par pied courant (livres) .....	
Diamètre nominal du câble (pouces) .....	Largeur et épaisseur (pouces) .....	
Composition du câble .....		
Genre de câblage .....		
Nombre de torons .....		
Nature de l'âme du câble .....		
Genre de graissage .....		
Nombre de fils dans un toron .....		
Diamètre des fils .....		
Nature de l'âme des torons .....		
Nature de l'acier des fils .....		
Résistance unitaire de l'acier .....	(en tonnes de 2000 livres)	Longueur de l'échantillon fourni :
Charge de rupture du câble neuf .....	Tonnes (2000 livres)	
Charge de rupture lors du dernier essai .....	Tonnes (2000 livres)	
Signature de l'Ingénieur .....		

Fig. 5.

En plus de la consignation de la charge de rupture effective relevée à l'essai de traction, les observations portent sur les points suivants :

— *l'usure* est mesurée : le nouveau diamètre ainsi que le pourcentage primitif sont notés.

— *la corrosion* est appréciée. On particularise la corrosion extérieure, intérieure entre torons extérieurs au contact de l'âme ou des âmes. La corrosion est évaluée par la perte en poids et classée en neuf catégories allant du terme « traces » (moins de 1/2 %) au terme « excessif » (supérieur à 30 %). Les degrés sont évalués visuellement par les préposés aux essais.

— la lubrification est enregistrée. Sept termes sont utilisés pour caractériser cet état : bon — bon

à admissible — admissible — admissible à déficient — déficient — déficient à sec — sec. Les évaluations sont basées sur l'épaisseur et la consistance de la couche de graisse. Le terme « sec » est employé lorsqu'il n'y a plus de graisse en un point.

— *l'aspect de la cassure des fils* : les termes suivants sont utilisés pour caractériser ces états : ductile, en cuvette (cuppy), cisaillement ou fragile.

On renseigne encore si des torons séparés se brisent au cours de l'essai et enfin la position de la rupture.

#### 4.4 Les ruptures dans les amarres.

Moins de 16 % des éprouvettes essayées donnent des ruptures, soit au col des culots, soit dans

l'amarre elle-même. Lorsque ce phénomène se produit, le résultat est considéré comme valable. Le laboratoire prétend que pareille rupture n'affecte en rien les résultats. Cette opinion a été plusieurs fois confirmée par les essais successifs qui ont été opérés sur un même câble. Il est arrivé qu'une éprouvette d'un câble, s'étant rompue dans l'amarre, a donné une charge de rupture plus élevée que l'éprouvette du même câble essayée six mois plus tôt et dont la rupture s'était produite en pleine éprouvette.

Il a toutefois été remarqué que les éprouvettes coupées mécaniquement (à la scie) ont donné un moins grand nombre de ruptures aux amarres que celles découpées au chalumeau.

#### 4.5 Conditions des essais.

Le coût des essais est à charge de l'utilisateur. Le tarif des essais de traction est le suivant :

- Diamètre inférieur à 15,87 mm  
— 1 livre S-A (140 FB)
- Diamètre compris entre 15,87 mm et 31,75 mm  
— 2 livres 10 sh
- Diamètre supérieur à 31,75 mm  
— 3 livres 10 sh.

#### 4.6 Remarques.

Il est à remarquer que les fils ne sont pas essayés séparément et il en est de même lors de l'essai d'un câble neuf. Ce n'est qu'à la demande expresse de l'usager que l'on y procède et cela arrive très rarement.

Les essais effectués en Belgique, lors de la mise en service des câbles neufs, comportent :

- un essai de traction sur éprouvette entière ou un essai de traction sur tous les fils ;
- des essais de traction, torsion et flexion sur fils ;
- on y ajoute fréquemment des examens métallographiques sur fils pour la recherche des inclusions et l'examen de la texture, ainsi que la détermination de la teneur en carbone.

### 5. — L'inspection des câbles en service.

#### 5.1 Inspections.

La surveillance journalière des câbles, telle qu'elle est prescrite par la réglementation, est généralement confiée au cordier. Il inspecte visuellement le câble à la vitesse normale de translation. Si quelque chose d'anormal est découvert, il fait arrêter le câble à cet endroit et il opère alors une inspection détaillée en procédant éventuellement au nettoyage du câble.

Cette inspection, ainsi que son résultat, sont consignés sur un rapport et dans le livre du câble. Ces documents doivent être tenus à la disposition de l'Ingénieur de l'Inspection Gouvernementale des Mines.

L'inspection mensuelle est effectuée par le même préposé sous la direction de l'Ingénieur de l'exploitation désigné à cet effet. L'Ingénieur procède à un examen minutieux du câble à des endroits choisis généralement espacés d'environ 100 mètres (\*). L'inspection a lieu de préférence à l'entrée du puits où un plancher est monté. Cette inspection fait de même l'objet d'un rapport.

Pour chaque endroit choisi sur le câble, l'inspection mensuelle porte sur environ un mètre de câble préalablement nettoyé de la façon suivante : on applique au chiffon un dissolvant sur la graisse ; à l'aide d'une ficelle, on enlève la graisse ; puis, on nettoie le câble au mazout et on l'essuie ensuite avec un chiffon. L'ingénieur mesure le diamètre et la circonférence, le pas de câblage et examine attentivement l'aspect du câble et des fils. Après cet examen minutieux, on regraisse convenablement le câble et on passe à l'endroit suivant.

#### 5.2 Défauts.

Quels sont les différents défauts rencontrés et quels sont les critères de dépose ?

— *Fils brisés* : En général, peu de fils se brisent dans la période de vie du câble. Dans une mine, un câble a fonctionné 3 1/2 ans effectuant un travail de 10.500 millions de tonnes mètre et, à la dépose, on n'a trouvé qu'un fil brisé. Ce câble avait 50,8 mm de diamètre, 2.180 m de longueur et 185 tonnes de charge de rupture. C'est au début de l'enroulement du câble sur le deuxième tour du tambour que les fils brisés se rencontrent le plus souvent. A cet effet, il est parfois d'usage de couper 3 mètres au tambour tous les 4 mois afin de ne pas maintenir cette partie du câble toujours à la même position.

D'après les constatations faites dans une mine, on est arrivé à la conclusion que, dès que les fils commencent à casser, la vie du câble est terminée.

— *L'usure* est un des facteurs importants de la dépose. Pour un câble de 38,1 mm de diamètre, une diminution sur le diamètre de 1,58 mm est, dans une exploitation, une mesure d'alarme. Dans une autre exploitation, pour un câble de 50,8 mm de diamètre, une diminution de 0,52 mm sur la circonférence amène la dépose.

Ceci correspond à une perte de 14 % sur la section diamétrale dans le premier cas et de 28 % dans le second cas.

Une diminution de 4 à 6 % en diamètre amène donc la dépose d'un câble.

(\*) Les points du câble correspondant à un nouveau tour d'enroulement sur le tambour sont généralement inspectés tous les mois. Parfois, le câble est ouvert, afin de se rendre compte de l'état intérieur, mais ce n'est qu'exceptionnellement, car le câble ayant des torons préformés, ces derniers risquent de ne plus se remettre bien en place.

L'usure est interprétée. Si elle est plastique, le phénomène est normal. Si, au contraire, l'usure n'est pas plastique, les fils sont alors devenus fragiles et le phénomène doit attirer l'attention (fig. 6).

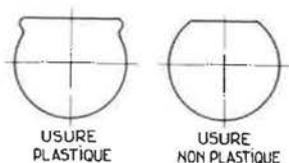


Fig. 6.

— L'indentation est rarement rencontrée. Cela est dû au type de câble utilisé qui, dans la plupart des cas, ne comporte pas de torons intérieurs.

— La corrosion s'observe très souvent et est une des causes les plus importantes de dégradation des câbles.

On signale que, dans l'Etat Libre d'Orange, une éprouvette prélevée après dépose, dans une partie fortement corrodée d'un câble, a donné seulement 40 % de la charge de rupture initiale du câble.

Là où il existe de la corrosion, très souvent l'adhérence de la graisse laisse à désirer et ce phénomène est un indice de détection. Quand le câble est très humide, la graisse tient difficilement. Dans ce cas, on emploie de la graisse avec un solvant qui durcit après évaporation du solvant. Lorsque le câble est très humide, on l'enduit au préalable avec une émulsion de bitume.

Lorsqu'un câble transportant du personnel présente de la corrosion, on ne le laisse pas fonctionner plus de trois ans.

La corrosion est perceptible également sur le diagramme effort-allongement relevé lors de l'essai de

traction. La partie du diagramme correspondant à la zone de plasticité diminue, ce qui indique une fragilité. Ensuite l'ordonnée diminue. Les résultats se particularisent encore plus lorsque l'on compare les surfaces des diagrammes donnant des valeurs en tons-inches. Ils portent le nom de «Proof Resilience». La figure 7 reproduit ce phénomène [6]).

Ces diagrammes ne peuvent être, bien entendu, comparés l'un à l'autre que si les différentes éprouvettes sont de même longueur, ce qui est le cas en Afrique du Sud.

Tels sont les principaux défauts rencontrés.

Il est à noter que, sur certaines installations avec des câbles en fils galvanisés, on remarquait des fissures longitudinales dans les fils. On eut alors recours à des fils d'acier clair et ces fissures ne se sont plus produites. Certains câbles en fils clairs ont vu alors leur vie s'allonger.

Le tire-bouchonnage est un défaut rencontré assez rarement. Lorsqu'il se produit, on parvient, dans certaines installations, à l'éliminer en faisant passer le câble à travers une filière en acier (\*).

Lors du coupage des pattes, on permet au câble la détorsion de quelques tours, la cage étant au jour.

### 5.3 Interprétation.

Aux résultats de ces examens viennent s'ajouter celui de l'essai de traction à la patte. Ce résultat donne une tendance de l'évolution du câble, mais n'est cependant pas entièrement représentatif de son état. L'usure en cet endroit est faible ou nulle. Un endroit retenant particulièrement l'attention est la partie du câble située au début de l'enroulement du tambour à l'enlèvement jour.

Ce n'est donc qu'en interprétant les différents défauts l'un avec l'autre et le résultat de l'essai de traction qu'une appréciation sur l'état du câble peut être arrêtée.

Les nouvelles installations du type Koepe verront les méthodes de contrôle profondément modifiées du fait de la suppression des essais périodiques de traction à la patte.

On fonde beaucoup d'espoir sur les résultats qu'apporteront les inspections effectuées avec l'appareil magnéto-inductif dont on parle au chapitre suivant.

En Belgique, en général, un câble est déposé, soit que les fils brisés, soit que les essais sur fils prélevés lors d'une ouverture montrent une perte de résistance faisant descendre le coefficient de sécurité en dessous de celui autorisé. La perte de résistance ne pourra jamais dépasser 30 % de la charge de rupture initiale.

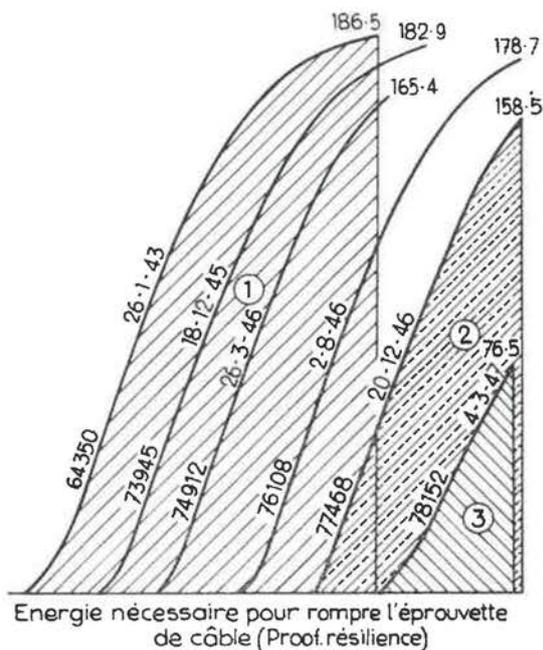


Fig. 7. — Diagrammes efforts-allongements. Essais semestriels successifs sur câbles de 2 pouces de diamètre

- 1 : superficie en pouces carrés - 545 t pouces
- 2 : superficie en pouces carrés - 241 t pouces
- 3 : superficie en pouces carrés - 63,5 t pouces

(\*) Il est à signaler, à titre indicatif, une réparation effectuée en Belgique sur un câble rond « Réparation d'un câble rond d'extraction dans lequel la couche extérieure de torons s'était décollée du restant » par G. Jacques, Ingénieur Chef de Service à l'A.I.B. - Pact n° 5/1948.

6. — Méthodes non destructives de contrôle.

Deux appareils seront examinés dans ce chapitre:

- l'appareil magnéto-inductif de contrôle des câbles en service ;
- le décéléromètre-téléscripteur des accélérations et décélérations.

6.1 L'appareil magnéto-inductif.

Le groupe Sud-Africain Union Corporation a conçu et monté un appareil magnéto-inductif qui est actuellement affecté aux contrôles des câbles d'extraction en service dans les installations du groupe.

6.1.1 Schéma de principe.

Le câble est magnétisé longitudinalement en passant dans deux bobines en série comprenant chacune dix tours.

Le câble passe également dans une bobine de détection comprenant un enroulement de 10 tours. La tension maximum induite pour un câble de 50,8 mm de diamètre est de 10 mV. Les variations mesurées sont d'environ 4 % (de 10 mV). La tension induite  $E_0$  est amplifiée et décomposée suivant ses composantes réactive  $E_x$  et résistive  $E_R$ . Un enregistreur à deux plumes inscrit les résultats. La figure 8 reproduit un diagramme schématique de l'appareillage.

La force électromotrice induite dans la bobine de mesure est en principe proportionnelle au courant magnétisant et déphasée de  $90^\circ$  sur ce dernier. Mais en réalité, la présence du câble donne lieu à des courants de Foucault qui affectent la grandeur de cette force électromotrice et sa phase.

Si nous prenons donc comme référence le courant magnétisant, nous trouverons que la force électro-

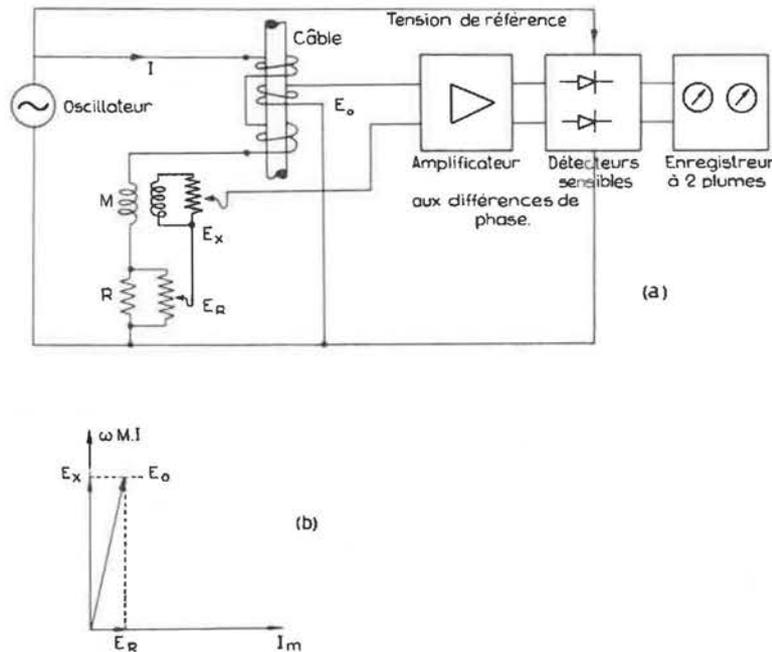


Fig. 8. — (a) Diagramme schématique — (b) Diagramme des vecteurs.

Les caractéristiques du courant sont les suivantes :

- Courant :  $I_m = 0,5 \text{ A}$
- Tension :  $E = 100 \text{ mV}$
- Fréquence :  $f = 80 \text{ Hz}$ .

motrice n'est pas exactement déphasée de  $90^\circ$  sur lui et le décalage constaté servira à apprécier la grandeur des courants de Foucault.

En d'autres termes, le vecteur  $E_0$  peut être décomposé en ses composantes :  $E_R$  en phase avec  $I_m$  et  $E_x$  déphasé à  $90^\circ$  sur  $I_m$ .

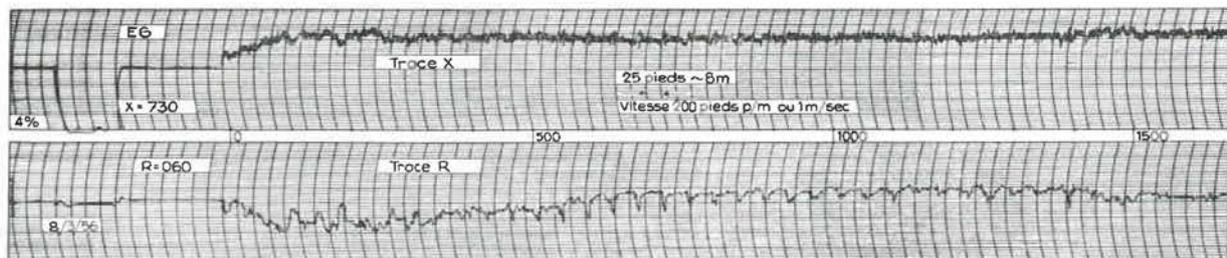


Fig. 9.

Le flux magnétisant dépend du courant magnétisant et de l'aire du câble. Toute variation de cette aire se reflètera sur le flux magnétisant et sur la composante  $E_x$  en particulier. D'un autre côté, les courants de Foucault dépendront de la résistivité électrique qu'ils rencontreront dans le câble, c'est-à-dire du plus ou moins bon contact électrique existant entre les fils.

En résumé, la composante  $E_x$  est liée à la section d'acier dans le câble, tandis que la composante  $E_R$  fournira une aide supplémentaire pour diagnostiquer l'origine des détériorations telles que corrosion, indentation, etc...

La figure 9 reproduit un tronçon d'un diagramme sur 1500 pieds d'un câble après six mois de service. Cette partie de diagramme est donnée simplement afin d'en illustrer l'aspect.

#### 6.1.2 Interprétation.

A titre d'exemple, une diminution du tracé X et une augmentation correspondante du tracé R décèlent une usure des fils (tracé X) et de l'indentation qui a pour effet d'augmenter les contacts entre les torons (tracé R).

Par contre la corrosion sera marquée par une diminution simultanée des tracés X et R. La corrosion amène en effet une perte de métal et donc une diminution de la section d'acier (tracé X). De plus, elle diminue le contact entre les fils par départ de matière (tracé R).

Une interprétation détaillée des diagrammes est donnée dans les communications de M. A. Semmelink [7] - [8].

Des confrontations furent faites entre les lectures des diagrammes, d'une part, et des examens visuels sur les câbles à la mine et des examens visuels et des essais en laboratoire, d'autre part. Ces confrontations confirmèrent les indications des diagrammes et aidèrent à les interpréter.

Une récente communication [8] signale que des essais de traction sur éprouvettes entières ont été effectués. Ces éprouvettes avaient, au préalable, été testées par l'appareil magnéto-inductif. Pour la majorité des éprouvettes essayées, on a constaté une relation étroite entre la lecture X et la charge de rupture.

On se rappellera qu'une étude semblable a été menée en Belgique (Plan Guérin - Récents progrès en matière de contrôle de la sécurité des câbles d'extraction, par Y. Verwilt, G. Jacques, J. Strebelle - Annales des Mines de Belgique - livraison novembre 1956), avec un appareil destiné à mesurer uniquement la composante X, mais travaillant en courant continu de façon à assurer une pénétration toujours suffisante du flux même dans le cas de gros câbles (diamètre 60 mm et au-dessus).

L'étude belge a d'abord pris comme base de comparaison les essais de traction sur câbles entiers, mais on s'est aperçu que des résultats parfaite-

ment concordants n'étaient obtenus qu'à partir des essais sur fils.

C'est là un résultat important, car il permet de généraliser les résultats obtenus sur des câbles de compositions diverses, ce qu'on n'avait pas obtenu sur la base d'essai de traction sur éprouvette entière (\*).

Les essais sud-africains ont porté sur des câbles dont le diamètre variait de 19,05 à 63,5 mm, alors qu'en Belgique les diamètres les plus courants vont de 55 à 70 mm pour lesquels la méthode à courant continu s'indique.

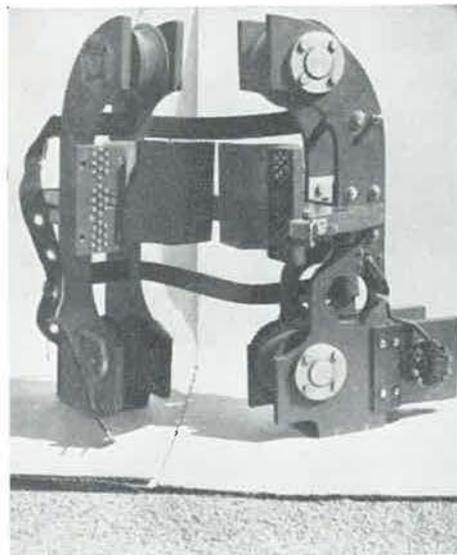


Fig. 10.

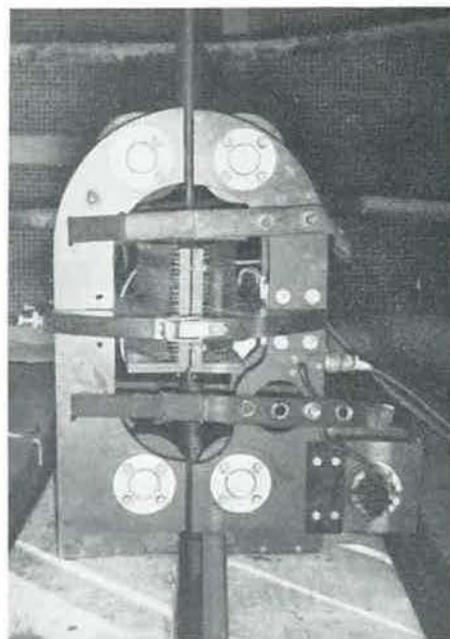


Fig. 11.

(\*) Une communication a paru dans le n° 5 de 1957 des Annales des Mines de Belgique.



Fig. 12.



Fig. 13.

### 6.1.3 Appareillage.

L'appareillage, d'un maniement très facile, est aisément transportable et peut être contenu dans le coffre d'une voiture automobile. Il comprend le détecteur que l'on adapte sur le câble, l'amplificateur, l'oscillateur fournissant le courant à 80 périodes et l'enregistreur. Les figures 10 et 11 représentent l'appareil ouvert et fermé, la figure 12 l'appareil en service et donne aussi son échelle et la figure 13 montre les appareils enregistreurs (les figures sont extraites de l'article cité en 8).

Le détecteur pèse quelques kg. Il est du type à ouverture de telle sorte que son placement sur le câble ne prend que quelques secondes ; le temps de la dépose sur le plancher du puits et de boucler trois courroies. Il est construit en Tufnol (toile bakélisée comprimée). Il comprend quatre galets guides en même matière. Seuls les axes de ces poulies sont en acier.

Le passage du câble s'opère à la vitesse de 200 pieds par minute (1 m/sec).

Lorsque les installations sont préparées, à savoir, plancher sur le puits et arrivée de courant dispo-

nible à l'abord du puits, un appareil peut opérer jusqu'à 12 contrôles par jour sur des câbles de 5.000 pieds (1.524 m).

Un dispositif mesureur de distance commandé directement par le câble est intégré au détecteur et commande le déroulement de l'enregistreur. Ce dispositif, appelé Selsyn ou Muirhead Magslips, est en vente dans le commerce. Il rend le détecteur totalement indépendant.

L'ensemble de cet appareillage a été entièrement construit par les services techniques de la Union Corporation [8]).

### 6.1.4 Contrôles.

Le passage du câble dans l'appareil s'opère à la vitesse de 200 pieds par minute (1 m/sec).

Les contrôles ont lieu à trois mois d'intervalle. Ils sont rapprochés s'il y a lieu.

La longueur de la bande du diagramme est de 10 cm pour 500 pieds (152 mètres).

Les utilisateurs de cet appareil prétendent que l'investigation pénètre à l'intérieur du câble, même lorsque celui-ci présente des torons intérieurs et que les renseignements fournis portent aussi bien sur l'état intérieur que sur l'état périphérique du câble. Le fonctionnement de cet appareil a donné pleine satisfaction à ses utilisateurs.

### 6.2 Le décéléromètre-téléscripteur.

Cet appareil a déjà fait l'objet d'une communication détaillée [9]. Il est en vente sur le marché sud-africain [10].

#### 6.2.1 Principes.

Les accélérations et décélérations à la cage ne sont pas identiques à celles imprimées à la machine d'extraction. Un décéléromètre doit pouvoir mesurer avec précision ces valeurs à la cage. De plus, lorsque l'on procède à des réglages de frein, il est utile de recevoir au plus vite les résultats des mesures et le mieux est de les recevoir pendant les réglages. Les renseignements doivent être clairs et à l'échelle suffisante pour pouvoir être interprétés.

Le seul moyen de satisfaire ces considérations est de séparer l'élément mécanique du décéléromètre de l'élément enregistreur et indicateur.

Le décéléromètre-téléscripteur, ainsi nommé, fut en conséquence envisagé. Il comporte les éléments suivants : un élément sensitif obéissant aux accélérations et décélérations verticales de la cage, une unité transmetteuse envoyant un signal à haute fréquence dans le câble et, à la surface, une unité réceptrice du signal et un enregistreur en unités d'accélération.

Le fonctionnement de cet appareil a été comparé à celui du décéléromètre de Cambridge et les diagrammes fournis ont été identiquement les mêmes. Cet appareil enregistre également la dérivée de l'ac-

célération. Cet enregistrement peut fournir des renseignements utiles dans l'étude des machines d'extraction automatiques, ainsi que des données touchant les facteurs d'inconfort pour le transport des personnes.

### 6.2.2 Essais.

A titre exemplatif, voici quelques genres d'essais qui ont été effectués au moyen de cet appareil. Trois mesures de décélération ont été effectuées à la vitesse de 3,04 m/sec au moment de l'arrêt de la machine, c'est-à-dire la machine d'extraction déclenchée, le frein bloqué et toutes autres conditions égales, la cage étant arrêtée à 275 - 610 - 940 mètres de la surface. On a constaté que la pointe de l'accélération brusque et momentanée de la cage au moment de l'arrêt de la machine présentait la même valeur, quelle que soit la longueur existante entre la cage et la molette.

On en a tiré la conclusion que, pour un long câble, il n'existait pas d'amortissement de cette accélération. On remarque en plus que la longueur de la période d'oscillations augmente avec la longueur du câble. La pointe de l'accélération a atteint 9,1 m/sec<sup>2</sup> (aucune donnée n'est fournie sur le poids et la charge de la cage ni sur le câble). Dans un autre exemple, également lors de l'arrêt de la machine, le frein étant bloqué, la cage se déplaçant à une vitesse de 3,8 m/sec, la pointe de l'accélération momentanée atteint 11,5 m/sec<sup>2</sup> équivalant à une traction de 59 tonnes dans le câble, faisant tomber le facteur de sécurité à 3,2. Il a été conclu, dans le cas envisagé, que la totalité du couple de freinage ne pouvait être appliquée lorsque les vitesses dépassaient 2,5 m/sec.

On a remarqué qu'à 950 m, la décélération a commencé 0,2 seconde plus tard, renseignant ainsi la vitesse de l'onde de choc à 3.350 m/sec. La vitesse calculée avait donné 3.250 m/sec. Cet essai a permis de vérifier l'exactitude de la formule théorique.

Des relevés d'accélération et de décélération ont encore été effectués sur des skips, vides, en chargement opéré immédiatement après l'arrêt ou après différents temps de pose après l'arrêt. Les essais ont montré que le plus grand soin devait être apporté dans l'amorçage du couple de freinage sur la machine d'extraction. On a ainsi déterminé l'intervalle de temps qui devait s'écouler entre le premier contact du frein et sa pleine application.

L'essai représenté à la figure 14 fut effectué au cours d'une manœuvre d'arrêt avec une machine d'extraction équipée d'un mécanisme où les freins exercent rapidement un couple de freinage atteignant une valeur prédéterminée et à partir duquel la continuation de l'application de ce couple se fait à régime lent.

La machine imprimait à la cage une vitesse de 12,6 m/sec. « Le graphique montre la croissance de la décélération, suivie d'une période d'une décélération presque constante, et ensuite la brusque chute des décéléérations lors de l'arrêt, suivie de l'oscillation de la cage après l'arrêt du tambour. La courbe du couple du frein, qui fut déduite de la courbe de la course du frein, montre clairement la croissance rapide du couple, suivie d'une application plus lente. Il est intéressant de remarquer qu'une portion seulement du couple total de freinage est appliquée lorsque le tambour arrive à l'arrêt, limitant ainsi à une valeur raisonnable la décélération » [9].

Des mesures ont été faites pour relever l'influence du déversement d'une charge de 8,6 tonnes dans un skip à 1280 m. Ce déversement opéré en 3,6 secondes a provoqué une accélération de 0,61 m/sec<sup>2</sup> équivalant à une tonne de surcharge au-dessus et en dessous de la charge statique. Le skip étant soumis à des accélérations de 1,22 m/sec<sup>2</sup> au cours de l'extraction, l'effort imposé au câble lors du déversement est moindre que celui imposé lors du démarrage. Ces mesures ont permis de déterminer le temps de pose qu'il était indiqué de marquer entre le temps d'arrêt du skip et celui du commencement du déversement.

Le décéléromètre a contribué également à la mise au point des freinages électriques.

Dans le but de réduire les sévères oscillations provoquées dans le câble à la remonte du skip chargé, lors de l'application du freinage, des mesures ont été faites afin de régler le dispositif de freinage pour imprimer à la machine d'extraction une décélération égale à celle de la décélération du skip montant. Ceci a réduit à un minimum la remontée du skip sur le câble qui était la cause de la très haute décélération relevée.

De tels essais permettent de faire travailler les câbles dans des conditions plus favorables et, de ce fait, prolongent la vie des câbles.

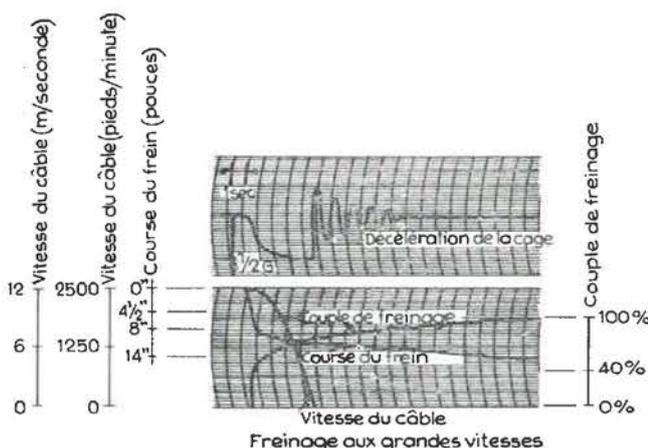


Fig. 14.

Ils montrent l'importance que revêt la mesure des efforts réels instantanés qui se produisent dans le câble dès qu'une variante prend naissance dans le régime des vitesses ou des charges au cours d'un cycle d'extraction. Ces essais s'effectuent au cours de l'exploitation normale.

Le recours au décéléromètre semble plus courant en Afrique du Sud que dans notre pays. Cet appareil permet de régler et de contrôler la bonne marche de la machine d'extraction ; dans certains cas, il en conditionne même l'utilisation, afin de ne pas induire des efforts exagérés dans les câbles. Il fournit des renseignements que les indicateurs de vitesse à la machine d'extraction ne donnent pas. Il renseigne en outre la charge réelle totale agissant à tout moment à l'attache du câble à la cage.

Une étude approfondie sur l'utilisation du décéléromètre en Belgique a été publiée dans les Annales des Mines de Belgique de novembre 1956, cfr 6.1.2.

### 7. — Caractéristiques générales et résultats.

Pour terminer, donnons quelques résultats sur les essais de traction des câbles, sur leur durée, ainsi que quelques caractéristiques des machines d'extraction.

#### 7.1 Essais de traction.

cas a)  $\varnothing$  50,8 mm - 6 torons triangulaires de  
 $14 \times 3,20 + 12 \times 2,33 +$   
 $6 \times 2,10 + 3 \text{ fillers} \times 1,52$   
 ( $\varnothing$  en mm)

- torons préformés, âme en Sisal
- longueur du câble : 2.180 m
- profondeur d'extraction : 1930 m
- poids du câble : 10,5 kg/m
- acier 191 kg/mm<sup>2</sup> - Acier clair
- coefficient de sécurité statique à la pose : 5,635  
 dépose : 5,320 - Perte de 9,4 % sur la charge de rupture effective
- charge de rupture théorique [11] : 218 tonnes
- charge de rupture effective [11] : 184 tonnes

— perte au câblage avec l'approximation que l'on utilise la charge de rupture théorique : 15,6 %

cas b)  $\varnothing$  58,10 mm - 6 torons triangulaires de  
 $10 \times 3,20 + 12 \times 1,49 +$   
 $6 \times 1,32 - (\varnothing \text{ en mm})$

( $\varnothing$  en mm) - torons préformés, âme en Sisal.

- longueur du câble : 1820 m
- profondeur d'extraction : 1140 m
- poids du câble : 6,2 kg/m
- acier (170-190 kg/mm<sup>2</sup>) - Acier clair
- coefficient de sécurité à la pose 7,4 (matériaux)
- coefficient de sécurité statique à la dépose, perte de 10 % sur la charge de rupture effective
- charge de rupture théorique : 118 tonnes.
- charge de rupture effective : 105 tonnes
- perte au câblage : 11 %

cas c)  $\varnothing$  47,62 mm - antigiratoire à torons préformés

9 torons  $9 \times 2,64 + 2 \times 2,41 + 1 \times 2,56$   
 8 torons plats  $6 \times 2,64$  acier 190 kg/mm<sup>2</sup>  
 6 torons  $7 \times 2,33 + 3 \times 1,67$  acier 170 kg/mm<sup>2</sup>  
 âme acier  $6 \times 1,98 + 1 \times 2,48$  acier 155 kg/mm<sup>2</sup>

- longueur du câble : 2.350 m - Puits en fonçage
- poids du câble : 9,15 kg/m
- charge de rupture théorique : 213 tonnes
- charge de rupture effective : 172 tonnes
- perte au câblage : 19,2 %.

#### 7.2 Durée de service.

Pour le câble repris au cas a) ci-dessus, il a été recherché l'indice de travail [12]. On a trouvé 0,510 tm/tx 10<sup>9</sup> - Durée 25 mois.

cas d) Pour une autre exploitation avec un câble analogue, mais une profondeur d'extraction de 1270 m, l'indice de travail est 0,543 tm/tx 10<sup>9</sup> - Durée : 24,5 mois.

Nous donnons ci-dessous les caractéristiques des machines d'extraction pour les cas a et d, qui sont équipés de câbles analogues.

## 7.3 Machines d'extraction.

Exploitation	cas a	cas d
— Puissance normale	2 × 1810 HP	2 × 2150 HP
de pointe	2 × 3300 HP	2 × 4500 HP
— Système machine	Ward Léonard	Ward Léonard
— Augmentation de la sollicitation dans le câble sur la charge statique normale due aux efforts dynamiques des accélérations et décélérations	5,5 %	9,3 %
frein secours	20 %	20 %
	a	d
Vitesse d'extraction	15,2 m/sec	15,2 m/sec
Rapport diamètre $\frac{\text{molette}}{\text{câble}}$	84	96
Rapport $\frac{\text{petit diamètre tambour}}{\text{diamètre câble}}$	78	
Rapport $\frac{\text{grand diamètre tambour}}{\text{diamètre câble}}$	210	
Rapport $\frac{\text{diamètre tambour}}{\text{diamètre câble}}$		84
Poids de la cage	4737 kg	4578 kg
Poids du skip	4755 kg	5360 kg
Charge de minerai	7257 kg	9072 kg
Hommes	69	48

A titre indicatif, rappelons que :

— la charge de rupture théorique est le produit de la section portante (nombre de fils fois la section des fils) par la résistance spécifiée ;

— la charge de rupture effective est la charge donnée au banc d'essai par rupture sur éprouvette ;

— l'indice de travail d'un câble est le travail total transmis par l'intermédiaire du câble pendant sa période de service divisé par le poids de la longueur travaillante du câble. Cet indice est comparatif.

On remarquera que l'on renseigne, pour une même machine, le poids d'une cage et celui d'un skip. Il est en effet de pratique courante, en Afrique du Sud, qu'une machine d'extraction remonte les produits par des skips. Lors du transport du personnel, le skip est enlevé et remplacé par une cage.

## 7.4 Réflexions.

Le câble à six torons triangulaires n'est pas à notre connaissance utilisé en Belgique. Son comportement au point de vue fils brisés semble rejoindre celui du câble clos, peu de fils se brisent, si pas du tout.

Les indices pour des installations à tambour, sans câble d'équilibre, sont faibles. En Belgique, sur les installations de Campine, les indices se situent entre 0,5 et 1 et ont tendance à se rapprocher en général de 1. Il est à noter que les câbles sud-africains sont, pour la plupart, déposés, par suite d'un examen visuel. En Belgique, les câbles sont

déposés lorsqu'ils ne présentent plus le coefficient de sécurité exigé. Ce coefficient est établi par calcul, comme suite à des essais mécaniques sur fils prélevés sur des parties du câble constatées moins bonnes. En effet, l'essai effectué à la patte ne s'opère pas dans la plus mauvaise partie du câble et la pratique du prélèvement de fils sur câble en service est inconnue en Afrique du Sud. La dépose présente donc un caractère plus subjectif.

L'utilisation de l'appareil magnéto-inductif pour le contrôle des câbles d'extraction confirmera progressivement les critères de dépose et permettra certainement d'allonger la vie des câbles.

Pour les installations profondes, on remarquera que les Sud-Africains utilisent les câbles de diamètres nettement inférieurs à ceux utilisés en Belgique. Le poids du câble intervient en effet d'une façon prépondérante dans les caractéristiques de l'extraction. Plus le poids métrique du câble sera petit, plus l'indice de travail sera élevé, toutes les autres conditions restant les mêmes. D'où, malgré tout, l'intérêt à utiliser les câbles présentant le diamètre le plus petit possible.

Dans ces conditions, la capacité d'extraction est relevée par une diminution des coefficients de sécurité. Ces derniers sont plus faibles qu'en Belgique. Cette diminution se justifie d'autant plus pour les puits profonds que l'élasticité des câbles joue de plus en plus dans pareilles circonstances. En outre, les mesures des tensions réelles dans les câbles per-

mettent d'évaluer avec moins d'imprécision les différents facteurs conditionnant l'extraction.

En résumé, il ressort des renseignements recueillis que les câbles utilisés en Afrique du Sud présentent dans l'ensemble des diamètres plus petits que ceux utilisés en Belgique. Les coefficients de sécurité utilisés sont plus bas. Il semble que le nombre de tonnes mètre de produit extrait par tonne de câble métallique soit plus élevé en Belgique sur les grosses installations Koepe.

REFERENCES

[ 1 ] The Mines Works and Machinery Regulations - Hortors Limited, Leader Building, Harrison Street, Johannesburg.  
 [ 2 ] The application of the Koepe hoisting system to the gold mines of the Witwatersrand and the Orange Free State - by L. T. Campbell Pitt, F. G. Zeppenfeld et W. P. Hallet - The South African Mechanical Engineer - février 1956.  
 [ 3 ] Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse - September 1953.  
 [ 4 ] Steel-Winding Rope Practise in the Witwatersrand - J. Dolan, W. Jackson, L. L. Campbell Pitt - Conference on Wire Ropes in Mines - Ashorne Hill - The

Institution of Mining and Metallurgy - Salisbury House - London E.C. 2.  
 [ 5 ] « The Institution of Certificated Engineer - n° 3 - March 1956 - South Africa - Kelvin House - Po. Box 3361 Johannesburg » The preparation, Test and Examination of Steel Wire Rope Specimens at the Government Mechanical Laboratory, Cottesloe », par C. J. Van Zyl.  
 [ 6 ] Graphique extrait de : « Winding Rope Practice on the Witwatersrand » - J. Dolan, W. Jackson, L. T. Campbell Pitt - Conference on Wire Ropes in Mines - Ashorne Hill - 1950.  
 [ 7 ] The Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers: P. O. Box 5907 - Johannesburg. - Electro-Magnetic Testing of Winding Ropes by A. Semmelink - May 1953.  
 [ 8 ] The Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers - Electro-Magnetic Testing of Winding Ropes by A. Semmelink - July 1956.  
 [ 9 ] A Telemetering instrument for the measurement of acceleration and deceleration of mine hoist, par C. Bellairs & M. R. Gerike - Juin 1953 dans le Bulletin repris au 7.  
 [ 10 ] F. G. Slack & Co - 6/10 Bareny Road, Benrose - P. O. Box 4273 - Johannesburg.  
 [ 11 ] Notice A.I.B. n° 365/C.E.M.T. 10.  
 [ 12 ] Conclusion n° 43 - Conference on Wire Ropes in Mines - Ashorne Hill - 1950 - The Institution of Mining and Metallurgy - Salisbury House - Londres E. C. 2.