

# L'extraction par quatre câbles

Bergassessor F. LANGE, Bochum.

Traduit de la revue « Glückauf » du 29 septembre 1951 (1)

par L. DENOEL,

Professeur émérite de l'Université, à Liège.

## SAMENVATTING

Verslag wordt uitgebracht over de vaststellingen waartoe de extractie door middel van vier kabels, voor de eerste maal in de Ruhr tot stand gebracht in de schacht n° 2 van de kolenmijn Hannover voor een nuttige last van 12 ton op 750 m diepte, later op 950 m gebracht.

De mogelijkheid om de steeds grotere lasten op zeer grote diepte op te halen door middel van meervoudige kabels scheen vooreerst ondergeschikt aan de verplichting de gelijkheid der belastingen te verzekeren door middel van mechanische compensatoren. Maar spoedig heeft men het gedacht opgevat van die schikkingen, die de extractie en de translatie van het personeel bemoeilijken, af te zien.

Om dit te bereiken werden talrijke grondige onderzoeken verricht vanaf einde 1947 tot einde 1950. Zij hebben er toe geleid van het eerste stelsel met gestabiliseerde kabels over te gaan naar een andere mechanische schikking voor volledige compensatie en een voorlopige oplossing te vinden, steunende op een natuurlijke compensatie met uitsluiting van ieder mechanisch apparaat. Die overgang werd mogelijk gemaakt doordat het bewijs geleverd werd dat de grond van het probleem gelegen is in de juiste kennis en de beheersing van de spanningen in de kabels.

Men moet bijgevolg beschikken over snelle en duurzame meettoestellen. Die apparaten, uitgedacht door de Gute Hoffnungshütte, te Sterkrade, worden beschreven. Zij laten de bepaling van de belasting van iedere kabel toe, met voldoende nauwkeurigheid. Steunend op deze metingen kan men, met het stelsel der GHH-kabelklemmen, de statische belasting op de vier kabels eenvormig verdelen. Daardoor is het moeilijkste gedeelte van het probleem opgelost, want de compensatie der supplementaire belastingen, die tijdens de werking ontstaan en die hoofdzakelijk te wijten zijn aan de ongelijkheid der stralen, mag overgelaten worden aan de elastische vervormingen van de kabels.

Het is dan overbodig beroep te doen op ingewikkelde mechanismen, als de compensatoren, want hun actie kan vervangen worden door de combinatie van natuurlijke verschijnselen en van regelingen met de hand.

In het licht van die beschouwingen werd de compensator van de schacht Hannover buiten dienst gesteld. De extractie werd regelmatig voortgezet zonder incidenten. Door de afschaffing van de zware en hinderlijke compensatoren werd de ophaalinrichting met vier kabels aanzienlijk vereenvoudigd. Haar belangrijkste kenmerk bestaat in het gebruik van kabelklemmen met snelle sluiting en van grote nauwkeurigheid, evenals in de toepassing van dynamometers. Terzelfdertijd verdwijnt de duisternis die haar werking omringde.

Er bestaat geen belemmering meer in de ontwikkeling van dit ophaalsysteem in het domein dat het toe komt, namelijk dat van de grote lasten en de grote diepten.

## RESUME

Il est rendu compte des constatations auxquelles a donné lieu l'extraction par quatre câbles, appliquée pour la première fois dans la Ruhr, à une charge utile de 12 t à 750 m de profondeur, portée dans la suite à 950 m, au puits n° 2 du charbonnage Hannover.

(1) Suite au mémoire de F. Lange « Wege zur Vierseilförderung » (Des moyens d'extraction par quatre câbles) - Glückauf 1948, pp. 103-115.

Le projet d'enlever des charges de plus en plus fortes à de très grandes profondeurs, au moyen de plusieurs câbles, a paru d'abord subordonné à l'obligation de réaliser l'uniformité des tensions par l'emploi d'un compensateur mécanique. Mais, bientôt, on a conçu l'idée de renoncer à de tels dispositifs qui compliquent le service de l'extraction et de la translation du personnel. Déjà, lors de l'élaboration des projets d'application, la suppression du compensateur s'est posée comme un objectif.

Pour éclairer la question, des investigations nombreuses et soignées ont été faites depuis la fin de 1947 jusqu'à la fin de 1950. Elles ont conduit à passer de la première réalisation avec câbles stabilisés à un autre dispositif mécanique de compensation complète; elles ont fait trouver une solution provisoire reposant sur la compensation naturelle et supprimant tout appareillage mécanique de compensation. Ce pas a pu être franchi grâce à la démonstration que le fondement du problème réside dans la connaissance et dans la maîtrise des contraintes des câbles. Il faut donc posséder des moyens de mesure rapides et durables. Les appareils imaginés par la Gutehoffnungshütte, à Sterkrade, ont été expliqués; ils permettent d'arriver à la détermination des efforts dans chaque câble avec une précision suffisante. Se basant sur ces mesures, on peut, avec le système d'attelage des pattes GHH, arriver à répartir uniformément la charge statique sur les quatre câbles. Par là, on résout la partie la plus difficile du problème, car la compensation des efforts supplémentaires, qui naissent pendant la marche et qui résultent principalement des inégalités des rayons, peut être abandonnée au jeu des déformations élastiques des câbles.

Il n'est donc pas nécessaire de recourir à ces mécanismes compliqués que sont les compensateurs, parce que leur action peut être remplacée par la combinaison des phénomènes naturels et de rajustements à la main.

En vertu de ces considérations, le compensateur du puits Hannover a été mis hors d'usage; l'extraction a été continuée régulièrement et sans incidents. Par la suppression des dispositifs de compensation lourds et encombrants, l'extraction à quatre câbles se trouve notablement simplifiée; son trait distinctif dans l'avenir réside dans les attaches à calage rapide et de grande précision, ainsi que dans l'adaptation de dynamomètres. En même temps cesse l'obscurité qui enveloppait son fonctionnement.

Il n'y a plus d'obstacle au développement de ce système d'extraction, dans le domaine qui lui est assigné, celui des fortes charges et des grandes profondeurs.

En 1947, une machine d'extraction à quatre câbles a été installée au puits n° 2 du siège Hannover du charbonnage Fr. Krupp, à Bochum Hordel. C'était une innovation hardie et comportant un grand risque. On a décidé de faire un essai d'une certaine durée, à une profondeur de 750 m, avant d'établir une installation définitive à 950 m. Ces deux installations ont donné lieu à des expériences et abouti à des résultats de grande valeur pour toutes les installations à très grande profondeur du monde.

L'ingénieur E. Hesse et le Directeur de la Station d'essais des câbles, H. Herbst, ont principalement contribué aux études et la Gutehoffnungshütte, à la construction de l'appareillage.

#### APERÇU RETROSPECTIF DE TROIS ANNEES DE SERVICE

L'installation est en service depuis plus de trois ans et a donné lieu à d'abondantes observations pratiques. Au début, l'extraction du siège Hannover se faisait par l'étage de 750 m et elle y a continué jusqu'à la fin de 1949. Pendant cette période, on a extrait 398.083 t de charbon et, tout compris, personnel et matériaux, on a effectué 50.000 traits, représentant 385.000 t/km. La mine extrayait, à cette époque, 1.800 à 2.000 t par jour et on a pris soin de n'imposer à la nouvelle installation qu'une charge lentement progressive. Ainsi s'explique que, pendant deux ans, le puits n° 2 a extrait relativement moins, tandis que le puits n° 5, muni d'une machine ordinaire à câble unique, fournissait l'effort principal.

A la longue, le système à quatre câbles s'étant montré efficace, on prit des dispositions en vue de l'extraction par l'étage de 950 m; le guidonnage et les traverses ont été remis en parfait état, la canalisation d'air comprimé a été remplacée par une nouvelle de 400 mm de diamètre et toute la passe du puits déjà creusé jusqu'à 950 m a reçu son armature. Tous ces travaux n'ont causé aucun arrêt de la machine d'extraction à quatre câbles.

Le 28 janvier 1949, l'étage de 950 m était mis en service. A la fin de l'année, on avait extrait par ce niveau, en marche ininterrompue, 507.507 t de charbon, c'est-à-dire la majeure partie de toute la production du siège Hannover. Avec le service des matériaux et la translation du personnel, on a effectué 57.000 traits et un travail d'extraction de 560.000 t/km. Entre-temps, l'extraction journalière du siège s'est élevée jusqu'à 2.400 t et, depuis le mois de janvier de cette année, celle du puits équipé du dispositif à quatre câbles a été en moyenne de 1.600 t. Par suite de l'extension des chantiers à l'étage de 950 m, l'extraction à la fin de 1951 sera portée à environ 2.000 t.

#### PLACEMENT ET ENLEVEMENT DES QUATRE CABLES

Le placement des quatre câbles se présentait comme une opération inédite. Il fallait trouver un moyen qui permette l'enlèvement d'un câble à l'ordinaire et le placement de quatre nouveaux câbles dans l'intervalle du samedi soir au lundi matin. Pour satisfaire à cette condition, il fallait opérer simultanément sur les quatre câbles. Le



temps requis devenait nécessairement plus long, mais il y avait une certaine compensation du fait que les nouveaux câbles étaient plus légers, plus souples, moins sujets à torsion, c'est-à-dire plus maniables.

La nouveauté du problème fit apparaître l'obligation, pour la première pose des quatre câbles, de renoncer au système habituel, adopté jusqu'alors aux fosses Hannover et Hannibal, et consistant à bobiner le câble sur la poulie motrice pour le dérouler ensuite dans le puits ; on devait au contraire tirer les câbles vers le haut, depuis l'envoyage jusqu'à la surface. En conséquence, les rouleaux de câbles furent descendus à l'envoyage et là, on les installa, deux par deux, de part et d'autre du puits de telle manière qu'il y ait de chaque côté un câble à enroulement gauche et l'autre à enroulement droit. Ensuite, la cage sud fut descendue à l'aide d'un treuil de service jusqu'à la recette du fond, assujettie solidement à son étage supérieur, puis l'on monta l'appareil compensateur sur le toit de la cage.

Pour tirer les câbles vers le haut, on utilisa un traîneau guide et un traîneau porteur. En premier lieu, on établit le cadre porteur entre les guides, attaché au câble du treuil de service, et on le laissa descendre de la hauteur libre entre la recette de la surface et la molette afin de pouvoir installer le traîneau guide et l'accrocher au câble, tout en restant au niveau de l'orifice du puits. Lorsque les deux traîneaux eurent atteint le niveau de 750 m, le porteur fut fixé un peu au-dessus de la recette, décroché du câble de service, le traîneau guide fut descendu plus bas, attelé aux quatre câbles d'extraction, alternativement à droite et à gauche. Ensuite, on fit remonter les bouts des câbles de 25 m et on les fixa sur le châssis guide. Lorsque tout le système eut encore été remonté jusqu'à la distance primitive entre le guide et le porteur, les quatre câbles d'extraction ont été attachés, l'un après l'autre, au traîneau porteur et exactement à l'écartement des rainures de la poulie motrice, puis tirés jusqu'au jour. Lorsque le traîneau porteur atteignit l'orifice du puits, le traîneau guide était à la base des guides rapprochés.

Les bouts des quatre câbles furent alors tirés par un câble auxiliaire jusqu'à la poulie motrice ; ils furent fixés par des coussinets aux planchers de la poulie frein et à celui des poulies directrices, puis on démontra le traîneau guide. Les bouts des câbles furent alors tirés à travers la garniture de la poulie, attachés aux bras et fortement tendus par la machine, de sorte qu'après l'enlèvement des coussinets d'attache aux planchers supérieurs et du traîneau porteur à l'orifice du puits, on put débobiner complètement les trois tours de câble restant encore sur les rouleaux à l'envoyage du fond. Les extrémités des câbles ainsi rendues libres furent passées sur le compensateur et fixées au moyen des pince-câbles G.H.H. ; la cage sud, ainsi reliée avec précision à la machine d'extraction, fut soulevée et reposée sur un appui inférieur.

Pour dérouler l'autre partie du câble gisant sur la poulie motrice, les quatre câbles furent de nouveau rattachés au traîneau porteur, à l'orifice du puits et aux deux planchers supérieurs. Enfin, la cage nord pourvue de son appareil compensateur fut amenée à l'orifice du puits et reliée aux câbles à la longueur voulue.

La pose des quatre câbles s'est passée sans incident et a fait reconnaître qu'on pourrait procéder comme dans le cas du câble unique, en enroulant d'abord les quatre câbles sur la poulie motrice, puis en les débobinant dans le puits.

On eut recours à ce système lors du déplacement de la recette du fond du niveau de 750 m à celui de 950 m. Pour commencer, il fallait enlever les deux vieux câbles d'équilibre à l'envoyage de 750 m et les découper au chalumeau. Ensuite, la cage sud étant amenée au niveau de l'orifice du puits, on adapta le traîneau à une certaine hauteur au-dessus et l'on descendit le tout de telle manière que les deux cages puissent être fixées à leurs niveaux de recette respectifs. Après avoir détaché la cage sud, calé ses quatre câbles au niveau de l'orifice du puits au moyen de huit griffes en bois, détaché la cage nord, les câbles rendus libres ont été retirés au niveau du sol du hall des machines.

La poulie rendue folle fut divisée en quatre magasins, de 600 mm de largeur chacun, au moyen de joues boulonnées. Puis, les bouts de câbles de la cage nord furent passés à travers la garniture en bois de la jante, assujettis à l'axe de sorte qu'après avoir détaché les quatre câbles du compartiment sud, on put les bobiner chacun dans son magasin propre. Les rouleaux des nouveaux câbles étaient montés sur chevalets au niveau de l'orifice du puits. On fixa leurs bouts à ceux des vieux câbles, on les tira sur la poulie autant qu'il le fallait pour pouvoir les fixer sur les planchers au moyen de griffes, débobiner les vieux câbles et rattacher les nouveaux à la poulie et les bobiner jusqu'à ce que les extrémités libres flottent au niveau de l'orifice du puits.

On procéda ensuite au changement d'étage à 950 m. Avec le treuil à vapeur, on descendit d'abord les nouveaux câbles d'équilibre, puis la cage sud se trouvant à 750 m et enfin son appareil compensateur. Alors, on remplaça le traîneau à l'orifice du puits, on y fit passer les quatre câbles, mais en ne fixant qu'un seul, pour que les trois autres glissent librement et qu'il ne puisse se former de boucles en cas de déroulement irrégulier. Pour empêcher la torsion, les trois câbles étaient reliés à 3 m en-dessous du traîneau par deux pinces, ce qui laissait un jeu suffisant pour les allongements éventuels des câbles.

De cette manière, la descente des quatre câbles jusqu'à 950 m se fit aisément, ainsi que la mise à mesure et la confection des pattes, et dans un temps qui ne dépassa pas celui qu'aurait exigé un câble unique. Les câbles, étant tendus raides, furent fixés comme précédemment au plancher de l'orifice et à celui de la poulie frein. Alors, les autres tours de câbles furent passés sur la poulie motrice et la pou-

lie de renvoi et descendus jusqu'à la cage nord. Après mise à longueur et confection des pattes de la cage nord, celle-ci fut suspendue et prête à recevoir les câbles d'équilibre.

La comparaison des deux procédés employés pour la pose des câbles a montré qu'il est plus simple de les tirer vers le haut que de les faire descendre. Le premier procédé pour le changement de câbles dans les 32 heures disponibles se recommande d'autant mieux que l'on peut combiner la remonte des nouveaux câbles avec le bobinage des vieux et s'épargner le travail de l'enroulement et du déroulement alternatif des nouveaux. Naturellement, il faut pour cela que les câbles neufs aient été au préalable disposés à la recette du fond, que toutes les opérations se succèdent suivant un programme soigneusement établi et que tous les dispositifs requis et les appareils auxiliaires soient à pied d'œuvre et à portée immédiate.

Incidentement, se pose ici la question du remplacement d'une seule des cordes. Cette éventualité peut se présenter à la suite, soit d'une détérioration par la chute d'un corps, soit d'une usure prématurée en vertu d'une surtension prolongée. L'expérience acquise à Hannover rend cette supposition peu probable. Il n'est donc pas nécessaire de se livrer à des considérations sur les difficultés des mesures à prendre. Elles ne résident pas tant dans l'exécution du changement de câble que dans l'appréciation exacte de l'allongement artificiel à imposer, à l'atelier, au nouveau câble pour que son extensibilité soit égale à celle des trois autres et pour qu'il prenne sa part proportionnelle de la charge.

### OBSERVATIONS GENERALES EN SERVICE

Avant la mise en service régulier, on a consacré un mois à des essais divers et dans des conditions très dures pour vérifier les possibilités du système. On a imposé à la machine, lors des essais des freins de service et de sûreté, des accélérations négatives qui, dans le cas du câble unique, auraient produit certainement des glissements de grande amplitude, mais qui n'eurent ici d'autre effet que de légers écarts entre la position de la cage et l'indicateur de profondeur. Cette observation, non seulement confirme donc le fait connu qu'on diminue le danger de glissement en augmentant le nombre de câbles, mais elle permet d'affirmer que l'extraction par plusieurs câbles écarte l'inconvénient principal du glissement dans le cas d'un seul câble, et que l'on n'a plus guère à craindre une mise à molettes résultant du faussement de l'indicateur de profondeur.

Pratiquement, le corollaire de cette observation, c'est que l'on peut admettre des accélérations plus fortes au démarrage et au ralentissement et réduire la durée du trait. Il est donc intéressant, en projetant une installation à plusieurs câbles, de compter sur les plus hautes valeurs possible des accélérations.

En ce qui concerne la construction, un point spécial doit attirer l'attention quand les câbles passent sur des molettes ou des poulies directrices. Dans une installation à quatre câbles, la pression du câble sur la poulie n'est que le quart de celle du câble unique. Pour une certaine valeur critique de l'accélération positive ou négative, la force d'inertie de la poulie peut surpasser le frottement entre le câble et la jante, de sorte qu'il se produit un glissement qui devient perceptible par un grincement désagréable. Si donc on veut utiliser au maximum les possibilités du système, en adoptant de grandes vitesses, il faut munir les rainures de la poulie d'une garniture possédant le plus grand coefficient de frottement.

Eu égard à l'intensité relativement faible du début de l'extraction et à la nouveauté du service, on a d'abord choisi une vitesse de 14 m/sec, inférieure aux 18 m/sec, limite réglementaire. La figure 1 représente un extrait du diagramme de l'enregistreur de vitesse. Le nombre de traits correspondant à cette vitesse et à la profondeur de 750 m est de 25 à 26 par heure. A la suite de cette expérience favorable, la vitesse de translation a été portée à 16 m/sec. Par ailleurs, ce diagramme manifeste la parfaite régularité de la marche de la machine.

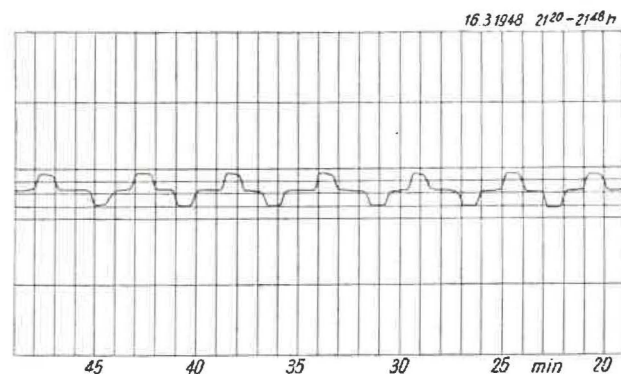


Fig. 1. — Diagramme de l'extraction par quatre câbles.  
Vitesse maximum : 14 m/sec.

Les oscillations latérales dans le plan des quatre câbles ne dépassent pas en amplitude celles que subit le câble unique en vertu du jeu des mains courantes dans les guides des vieux puits. En fait, elles sont insignifiantes parce que les quatre câbles ne se meuvent pas l'un vers l'autre et que l'écartement prévu entre deux voisins n'est jamais totalement parcouru. Il en va de même pour les deux câbles d'équilibre qui, même à l'endroit critique de la boucle, courent bien tranquillement en restant parallèles.

Enfin, comme dernière preuve du bon comportement des quatre câbles, citons les résultats des essais de traction opérés sur des éprouvettes lors de la dépose, après deux ans de service et un travail d'extraction de 385.000 t/km.



Câbles	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
	85.100	86.600	88.000	85.600 kg
En moyenne : 86.300 kg.				

Si l'on compare ce chiffre à la charge de rupture initiale de 93.850 kg, on voit que la diminution n'est que de 8 %. Cette valeur ne diffère pas des résultats obtenus dans les installations à câble unique.

Le bon état des quatre câbles déposés est attesté en outre par le fait que le câble n° 1 seul présentait des ruptures des fils extérieurs, et cela dans un même toron, les autres câbles ne montraient pas de ruptures visibles.

**COMPENSATION DES TENSIONS**

Dans le travail prérappelé sur l'évolution des moyens d'extraction, on a fait remarquer que, dans la Ruhr, l'extraction par deux câbles a déjà été appliquée il y a plusieurs années dans des puits intérieurs et dans de petits puits d'extraction. En plus des observations faites alors, on connaissait les résultats donnés par les ascenseurs américains à plusieurs câbles jusqu'à des hauteurs de 300 m. Mais, en ce qui concerne l'extraction à plusieurs câbles pour de fortes charges et de grande profondeur, on n'avait aucune donnée.

On en était donc réduit à des spéculations théoriques pour éclairer la question extrêmement importante des moyens de répartir uniformément la charge sur les quatre câbles, et cela d'une manière durable en dépit des altérations pouvant résulter des conditions de marche. Dans la même étude, on a décrit en détail un dispositif mécanique à placer sur le toit des cages et consistant en un système de poulies folles et de poulies fixes réunies par des chaînes de Galles.

A la suite de l'expérience acquise en deux années de service, les vues sur la compensation des tensions se sont sensiblement modifiées. Elles ont conduit à une nouvelle solution qui substitue à l'action mécanique une compensation naturelle qui fait appel à l'extensibilité des câbles. Le principe n'est pas nouveau. Il a déjà été pris en considération lors de l'élaboration du système ; mais il a été écarté résolument et par souci de responsabilité, parce que le système à rouleaux paraissait plus sûr et méritait la priorité en vue de recueillir des observations sur la manière dont la compensation se réaliserait en pratique.

On a trouvé que l'idée première d'une compensation automatique était fondée. A priori, c'est l'objectif le plus désirable. Il fallait en rendre ostensible la possibilité. Le dispositif de compensation adopté, consistant à boulonner le châssis des poulies folles sur le cadre de guidage, permettait de supprimer complètement le compensateur dans le cas où il serait reconnu inutile.

**a) Compensateur mécanique stabilisé.**

Lors de la construction du premier appareil compensateur, pour les quatre câbles de la fosse Hannover, on a renoncé sciemment à une compensation

parfaite parce que l'avantage d'une telle combinaison a pour contrepartie un équilibre indifférent des quatre câbles. Théoriquement, il y a danger que les quatre câbles, bien qu'ils soient exactement chargés pendant l'extraction, se déplacent sans changement de longueur, uniquement par un effet de déroulement, et que par suite, le compensateur se mette dans une position finale telle qu'il n'ait plus aucune efficacité. La figure 2 explique ce phénomène. Le schéma est celui du compensateur à rouleaux et chaînes de Galles. A gauche, on voit les deux compensateurs dans leur position normale de marche ; à droite, la situation après que les câbles ont atteint le point mort. Une question reste ouverte : quel peut bien être le risque du déroulement des câbles en marche ; et ne se présente-t-il qu'à de longs intervalles de temps et pourrait-on y remédier par des dispositifs spéciaux, par exemple par le décalage des rainures des poulies, qui permettrait de remettre rapidement les câbles dans leur position obligatoire ? Il faut bien considérer que le déplacement des poulies de compensation jusqu'au point mort n'exige que des forces relativement faibles. Une telle éventualité devait être rendue impossible tant qu'on ne disposait pas de données expérimentales suffisantes et, par conséquent, il fallait renoncer à la compensation parfaite et à sa place employer un dispositif qui maintienne les compensateurs en état d'équilibre stable et les câbles fixés en certains points.

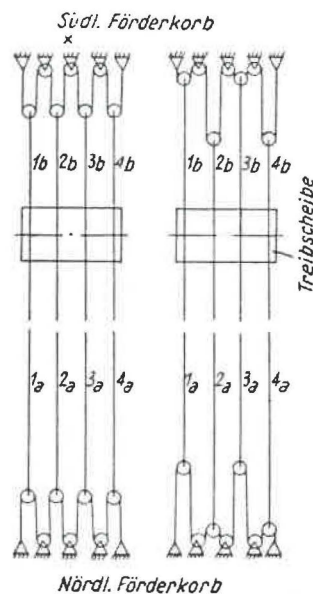


Fig. 2. — Schéma d'un compensateur parfait à poulies pour les deux cages et les quatre câbles.

Südl. Förderkorb = Cage sud.  
 Nördl. Förderkorb = Cage nord.  
 Treibscheibe = Poulie motrice.

A gauche : Position normale ;  
 A droite : Position finale inopérante.

Un système simple de stabilisation consiste à couper, sur l'une des cages, la chaîne au point marqué x dans la partie gauche de la figure 2 et

à fixer les bouts de la chaîne sur le toit de la cage, faire passer les deux câbles intérieurs sur les rouleaux de la seconde cage et fixer à celle-ci les extrémités des câbles extérieurs. Le dispositif est représenté schématiquement par la figure 3. On voit du côté sud deux paires de câbles équilibrées (1<sub>b</sub>, 2<sub>b</sub>, 3<sub>b</sub>, 4<sub>b</sub>), chacune d'un câble externe et d'un câble interne, tandis que sur la cage nord, les deux câbles internes (2<sub>a</sub>, 3<sub>a</sub>) peuvent se compenser mutuellement, mais les deux câbles externes (1<sub>a</sub>, 4<sub>a</sub>), sont fixés et servent de stabilisateurs. Cet appareillage permet sans difficulté de passer à la compensation parfaite, si elle est reconnue nécessaire, par l'application à la cage nord d'une chaîne sans fin et de nouvelles poulies.

Il restait des doutes quant aux conséquences de cette solution approximative et à la rançon de la stabilisation. À l'état statique, les deux charges étant suspendues, la répartition des tensions dans les quatre câbles est sensiblement uniforme, mais pendant la marche se présentent des efforts additionnels résultant principalement des petites différences dans les diamètres et dans l'extensibilité des câbles, et aussi dans les diamètres des gorges des poulies. Les deux premières causes ne sont ni mesurables ni contrôlables en service ; ce sont aussi les moins importantes quant à la variabilité des tensions. Les différences dans les diamètres d'enroulement sont toujours mesurables et peuvent être compensées de temps à autre. Ce sont elles aussi qui sont prépondérantes.

Le diamètre normal d'enroulement du câble dans la rainure est fixé à 5 m. Une différence de 1 mm dans la profondeur de la rainure représente, à la profondeur de 750 m, une avance du câble passant sur le plus grand diamètre de :

$$\frac{2 \times 0,1 \times 750}{5} = 30 \text{ cm.}$$

Les différences dans les vitesses des câbles ont pour conséquence des variations de tension. Dans le câble le plus rapide, la tension croît dans le brin montant et décroît dans le brin descendant. C'est l'inverse pour le câble le plus lent. Les plus grandes différences entre les tensions se présenteront quand les variations de diamètre existeront entre les rainures 1 et 4, puisque les câbles correspondants de la cage nord n'ont pas de compensateurs. Puisque la stabilisation rend impossible la compensation parfaite, il faut que les différences de tension dans chaque compartiment se traduisent par un glissement du câble sur la poulie motrice. C'est ce qui se produit lorsque le rapport  $S_A : S_B$  dépasse une certaine valeur déterminée par le coefficient de frottement et l'angle d'enroulement ( $S_A$ ,  $S_B$ , tensions dans chacun des compartiments du puits). Ainsi, dans le cas du câble unique, un glissement important ne se produit que dans des cas exceptionnels ; dans une installation à quatre câbles, le risque de glissement devrait être encore beaucoup moindre, mais en fait, avec un appareil stabilisé,

l'expérience prouve que les glissements sont très fréquents dès qu'apparaissent des différences dans les diamètres d'enroulement.

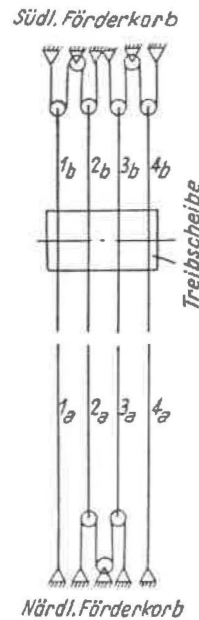


Fig. 3. — Schéma de la compensation à Hannover avec stabilisation des câbles 1<sub>a</sub> et 4<sub>a</sub>. Pas de compensation parfaite. Compensation entre les câbles 1<sub>b</sub> et 2<sub>b</sub>, 3<sub>b</sub> et 4<sub>b</sub>, 2<sub>a</sub> et 3<sub>a</sub>.

Dans le dispositif stabilisé établi à la fosse Hannover sous sa première forme, le glissement est inévitable, mais retardé jusqu'au moment correspondant à une certaine usure. Dans le câble qui prend l'avance, le glissement est en sens inverse de la rotation ; dans le câble en retard, il est de même sens.

Ce glissement continué amène une usure des garnitures qu'on peut raisonner comme suit. Si le glissement a lieu dans la rainure qui a par hasard le plus grand diamètre, on peut admettre que ce diamètre va se réduire progressivement par le fait même du glissement jusqu'à la valeur normale. Mais, le glissement n'est pas exclu dans la rainure qui a le plus petit diamètre et, par conséquent, ce diamètre va aussi en diminuant. On ne peut donc pas s'attendre à ce que les différences entre le grand et le petit diamètre s'atténuent spontanément. Cela paraît peu probable si l'on considère qu'une différence de 1 mm amène une différence de course de 30 cm. Le travail absorbé par le glissement doit donc aller en croissant. Il en résulte une usure progressive des garnitures et l'expérience prouve qu'elle est en raison géométrique. En particulier, ceci se vérifie pour les câbles 1 et 4 dont les rainures sont les plus exposées à l'usure. Cette usure irrégulière et rapidement croissante apparaît donc comme la rançon de la stabilisation. Plus grandes sont les différences des diamètres d'enroulement, plus grandes sont les surtensions dans le câble le plus pressé de la cage montante ou dans le plus lent de la cage descendante. Mais, ces accroissements de tension ne sont tolérables que dans certaines limites. Il importe donc, pour la bonne conservation des câbles, d'une part de donner dès le début, avec toute la précision possible, le même diamètre à toutes les rainures de la poulie, d'autre part de



contrôler fréquemment et soigneusement l'usure des garnitures de manière à pouvoir intervenir à temps pour la corriger.

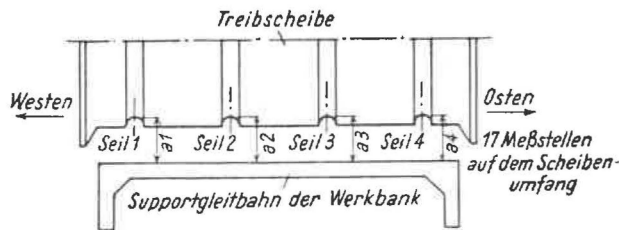


Fig. 4. — Surveillance de l'usure des rainures des câbles.

Treibscheibe = Poulie motrice.  
Seil = Câbles.  
17 Messstellen auf dem Scheibenumfang = 17 repères sur la périphérie de la poulie.

On y arrive au moyen de l'établi (fig. 4) qui est installé sous la poulie motrice et qui s'étend avec sa glissière sur toute la largeur. Ce dispositif permet d'abord de tourner très exactement les rainures lors du renouvellement des garnitures et de réaliser des rayons d'enroulement bien égaux, ce qui se fait sans difficulté et avec une grande précision dans le cas de garnitures en cuir au chrome.

La surveillance de la garniture se fait dans la suite, de la manière suivante. A l'une des joues de la poulie, on a fixé 17 repères également répartis sur la périphérie ; à des intervalles de temps déterminés, au début une fois par semaine, on

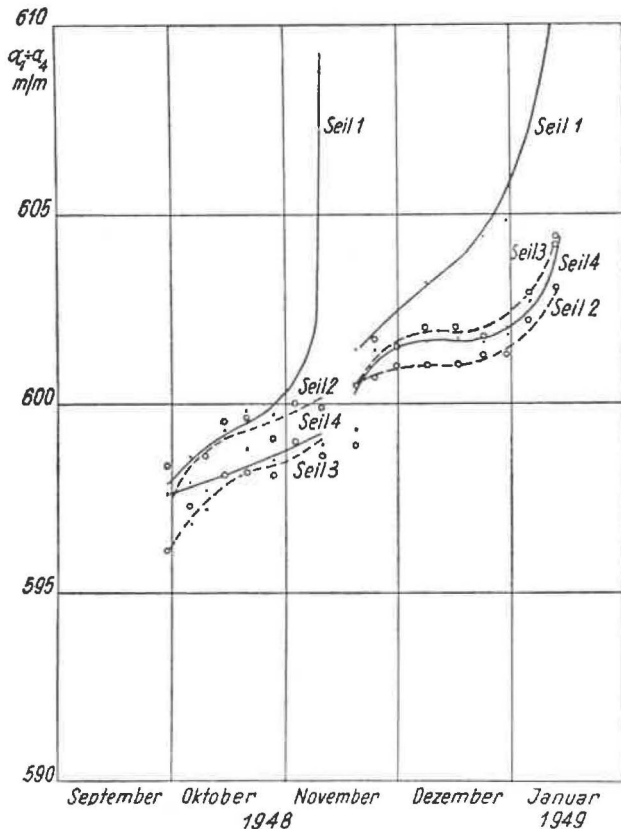


Fig. 5. — Progression de l'usure dans un système stabilisé.

mesure sur chaque câble la distance entre le fond de la rainure et la face de la glissière dans le plan radial de la poulie (mesures  $a_1 \dots a_4$  de la fig. 4). La mesure s'effectue à l'aide d'un compas dont les branches se glissent entre la rainure et la glissière jusqu'à ce qu'on ait trouvé l'écartement minimum. La lecture de la distance se fait au vernier.

La moyenne des 17 mesures est portée sur un diagramme en fonction du temps, ce qui procure une image fidèle de l'usure croissante des rainures. La figure 5 donne ces diagrammes pour deux périodes. L'usure de la rainure n° 1 va en croissant suivant la loi exponentielle ; cela se présente aussi plus tard pour la rainure n° 4 et on peut apercevoir la même tendance dans les deux autres. Les variations deviennent inquiétantes après six semaines à deux mois de marche ; elles atteignent 10 à 15 mm et à ce point la courbe tend vers la verticale, ce qui oblige à rétablir l'uniformité des rayons d'enroulement. Ces phénomènes montrent clairement qu'il y a un fort travail de glissement, qui provient de la compensation imparfaite des tensions.

Pour rétablir l'égalité des rayons, il serait peu avantageux de tourner les rainures les moins usées pour les ramener toutes au rayon minimum, parce que cela entraînerait à la longue une dépense de matière assez considérable. Il est plus rationnel de rétablir l'équilibre par interposition de fourrures en bois sous la garniture la plus usée. Ce procédé est aussi plus rapide que celui qui oblige à tourner à nouveau plusieurs rainures.

Quand on a augmenté l'extraction et la vitesse de marche, il a fallu procéder à la revision des garnitures à des intervalles plus rapprochés, parce que la variation des rayons provoque dans les câbles des surtensions croissantes, spécialement dans les deux câbles stabilisateurs. On n'a pas manqué à chercher un palliatif à ces réparations fréquentes par l'emploi de garnitures plus résistantes. Le brevet DRP n° 736.933 classe 35a groupe 10 de 1941, revendication F. Krupp, cherche à éviter la surtension en faisant passer les câbles externes sur des garnitures à faible coefficient de frottement ou en lissant les rainures. Par là, on fait à dessein intervenir le glissement pour égaliser les tensions.

La nécessité d'obvier continuellement à l'usure des garnitures pose la question de savoir si la stabilisation ne se paie pas trop cher et si, en définitive, la compensation parfaite, malgré les dangers du point mort, ne serait pas préférable. Ceci a donné lieu à de nouvelles investigations sur le jeu des compensateurs.

Dans ce but, on a procédé deux ou trois fois par semaine à des mesures à la recette du jour et à l'envoi pour déterminer, par rapport à un repère fixe, la situation du châssis-guide des poulies folles et du chemin qu'elles doivent parcourir pendant chaque trait pour assurer la compensation. Un point commun à toutes les poulies folles, c'est que leurs déplacements verticaux, soit vers le haut, soit vers le bas, sont sensiblement égaux. Dans son ensemble, le compensateur ne s'est guère écarté de la position moyenne qui lui a été donnée

lors du placement. Par contre, les écarts correspondant aux divers câbles sont considérables. Ainsi, dans l'état de la figure 5, les levées les plus fortes sont celles des poulies sur lesquelles se reporte la tension des câbles stabilisateurs. Ces déplacements verticaux atteignent  $\pm 500$  mm, mais jamais le jeu disponible de 750 mm, bien qu'une variation du diamètre d'enroulement de 15 mm donne une avance ou un retard de 2.000 mm d'un câble sur l'autre. Ceci montre bien clairement le rôle du glissement dans la compensation des tensions.

Le glissement est favorisé par le faible rendement du système de poulies par suite du frottement de la chaîne de Galles. Les frottements ont été mesurés séparément et trouvés très grands. Ils sont dus à l'humidité de l'air des puits. Le libre jeu des roues du compensateur en est contrarié. C'est ce qui explique pourquoi le jeu vertical disponible n'est pas complètement utilisé. On peut en outre en conclure que l'éventualité du complet déroulement d'un câble jusqu'à la limite prévue n'est pas à craindre, parce que la force requise pour ce déplacement est inférieure aux résistances passives. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de stabiliser le compensateur et l'on peut éviter le glissement perpétuel et l'usure très inégale des rainures des poulies.

Il reste encore une question à résoudre : l'amplitude du jeu vertical qu'il convient d'adopter pour le compensateur. Un fait indéniable, c'est que, pendant deux années de marche, le jeu total disponible de 1.500 mm n'a jamais été complètement utilisé et que les déplacements des poulies folles sont restés entre les limites de  $\pm 500$  mm et ont rarement atteint ce chiffre. Il est donc douteux qu'un plus grand jeu soit absolument nécessaire pour éviter le surmenage des câbles ou des garnitures.

Dans le mémoire « Wege zur Vierseilförderung », on a exposé que, précisément à cause de la grande amplitude présumée nécessaire pour un compensateur à poulies, la préférence devrait aller au compensateur à levier coudé. A ce propos, on n'a pas négligé l'effet partiellement stabilisateur du balancier ni la simplification de l'appareillage ni la diminution du poids mort.

Eu égard à ces avantages des appareils à balancier, on avait prévu, lors des études préparatoires en 1958, la possibilité de leur emploi s'ils se montraient appropriés ou s'il résultait de l'expérience qu'on peut se contenter de faibles déplacements verticaux. (2)

Une question bien plus importante que celle du jeu vertical, c'est celle de la fatigue des câbles en vertu de leur tension effective. Celle-ci échappe à l'observation immédiate de sorte qu'une surtension durable peut se produire et amener une fatigue prématurée de l'un ou de l'autre câble. C'est bien ce qui est à craindre dans le système stabilisé

et les essais cités plus haut montrent que les câbles 1 et 4 avaient une charge de rupture moindre que les n° 2 et 3.

Il importe donc, dans toute extraction par plusieurs câbles, de pouvoir déterminer directement les tensions des câbles en service. Dans un mémoire à paraître prochainement, le fournisseur du compensateur à poulie et la G.H.H. traiteront de cette question, ainsi que des procédés de calcul et de mesurage. Bornons-nous ici aux résultats pratiques. Les calculs de la G.H.H. montrent combien il importe de contrôler les maximums de la tension du câble par des essais courants. Pour commencer, les amortisseurs de choc, placés sur la cage nord à l'attache des câbles stabilisateurs, ont été munis d'indicateurs à ressorts ; du diagramme des courses, on a pu déduire des indications sur la tension des câbles. Comme ce dispositif ne satisfaisait pas aux conditions des puits et qu'en outre il a paru nécessaire de surveiller chaque toron en particulier, la G.H.H. a construit un autre appareil de mesure en forme d'anneau-dynamomètre, qui a été appliqué aux torons à l'endroit des pièces de réglage qui existent dans l'attelage à décalage rapide de G.H.H.

La construction, l'attache et le mode d'action des dynamomètres se voient sur la figure 6. Le principe de la mesure repose sur la contraction d'un anneau fendu, soumis à la compression et c'est

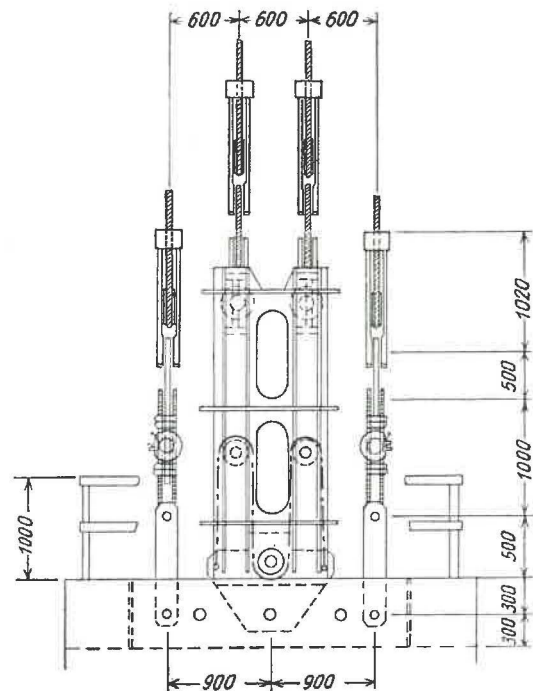


Fig. 6. — Application des dynamomètres à anneau fendu sur la cage nord (un seul cadre guide).

l'ouverture de la fente que l'on mesure. La tension peut être lue en  $t$  ou déduite de l'ouverture mesurée par comparaison avec une courbe de tarage. L'indicateur à lecture immédiate comprend une aiguille commandée qui doit indiquer la plus grande valeur de la tension dans chaque toron pendant le trait.

(2) H. Herbst : « Seilfragen bei der Steinkohlenförderungen aus grossen Teufen ». - Techn. Bl. Düsseldorf, 1959, n° 29.



L'appareil adapté à la fin de l'année 1948 a atteint son but en tant qu'il a permis d'observer les tensions à l'état statique, c'est-à-dire à la recette et les cages en repos. Mais, les aiguilles fonctionnent moins bien en marche brutale. Comme ce sont justement les plus grands efforts statiques et dynamiques pendant la marche qu'il importe de connaître, on a substitué à ces indicateurs à aiguille des éprouvettes en plomb ; elles sont placées dans la fente des anneaux et plus ou moins écrasées suivant la tension du câble. Par comparaison avec un diagramme de tarage, la hauteur permanente des plombs permet de déterminer l'effort maximum subi (fig. 7). On n'a plus besoin que de mesurer de temps en temps, à l'aide d'un micromètre, la hauteur des éprouvettes de plomb. Elles sont remises chaque fois à la mesure de la plus grande ouverture qui correspond à l'effort minimum, c'est-à-dire la cage vide à l'envoi. C'est dans cette situation qu'on glisse chaque éprouvette dans le dynamomètre de façon à fermer exactement l'ouverture. Tout est prêt pour la mesure suivante. On dispose de plusieurs jeux d'éprouvettes de manière à avoir toujours sous la main une qui convienne.

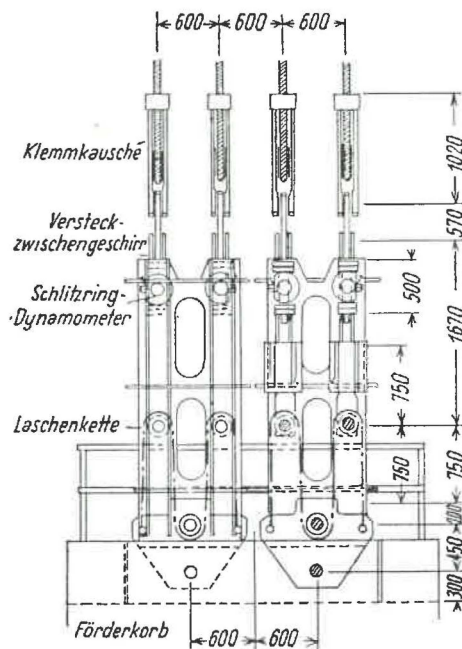


Fig. 7. — Application des dynamomètres à la cage sud (deux cadres guides).

- Klemmkausche = Pince d'attelage.
- Versteckzwischengeschirr = Pièces de réglage.
- Schlitzring-Dynamometer = Dynamomètres à anneau fendu.
- Laschenkette = Chaines de Galles.

Ainsi dorénavant, on aura à sa disposition un appareil précis et peu sensible au traitement brutal.

**b) La compensation mécanique parfaite.**

Une expérience de deux années avec la machine à quatre câbles ayant fait reconnaître que la stabilisation du compensateur à poulies n'est pas indis-

pensable, on a décidé, lors du passage à 950 m, de recourir à un système de compensation parfaite. On applique donc à la cage nord une seconde paire de rouleaux comme celle de la cage sud (fig. 3). Comme on supprimait ainsi les glissements de câbles, il devait en résulter une usure uniforme des garnitures des poulies. Mais, il fallait, pour s'en convaincre, observer constamment cette usure. Avant la pose des nouveaux câbles, les rainures ont été à nouveau tournées avec précision et les distances entre l'établi et le fond de chaque rainure ( $a_1 \dots a_4$ ) bien exactement amenées à 578 mm.

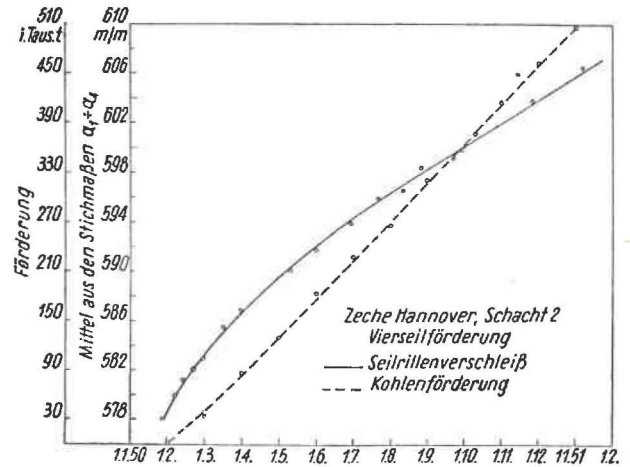


Fig. 8.

Förderung = Extraction.  
Mittel aus den Stichmassen  $a_1 \dots a_4$  = Distances moyennes mesurées  $a_1 \dots a_4$ .

Progression de l'usure : jusqu'en juillet 1950 avec compensateur parfait ; plus tard, sans compensateur.

Le diagramme-figure 8 montre que les conditions sont notablement différentes de celles du compensateur stabilisé, et que l'usure est maintenant uniforme dans les quatre rainures. Au cours de onze mois, on a extrait 507.507 t de charbon ; on a fait 57.000 traits et un travail de 500.000 t/km. La différence entre la plus grande et la plus petite des mesures au compas est en moyenne de 0,6 mm et au maximum 1,1 mm. La variation du diamètre d'enroulement est donc de 1,2 mm ou 2,2 mm.

L'alternance des plus grands diamètres avec les plus petits est remarquable ; ils se présentent tantôt dans l'une, tantôt dans l'autre des quatre rainures. Il arrive souvent que deux rainures aient exactement le même diamètre. Après onze mois de marche, l'usure moyenne des quatre rainures est de 28,5 mm, soit 2,6 mm par mois. Elle est fort inférieure à celle qu'on observait antérieurement aux fosses Hannibal et Hannover sur les mêmes garnitures en cuir et un seul câble d'extraction ; l'usure moyenne était alors de 3,3 mm par mois.

Le contraste entre les diagrammes n° 5 et 8 est frappant. Dans le premier cas, par suite de la stabilisation, l'usure est rapide et croît dans les câbles



externes suivant la loi exponentielle ; elle est beaucoup plus modérée dans les deux autres, de sorte qu'après deux mois, un rajustement s'impose. Dans le second cas, l'usure est plus uniforme et croît à peu près proportionnellement au temps sans qu'il soit nécessaire de reconformer les garnitures. Il est à remarquer que, pendant cinq à six mois, l'usure se fait suivant une loi parabolique et, dans la suite, suivant la loi linéaire. Au début, l'usure est assez forte, 5 mm par mois ; elle diminue progressivement jusqu'à 2 mm. La cause de ce phénomène surprenant provient sans doute d'un certain glissement de câbles sur les poulies pendant les premiers temps de marche. L'allure du diagramme ressemble au début à celle des diagrammes du système stabilisé.

En tout cas, il faut s'attendre, même avec le compensateur parfait, à un tel glissement du câble dans le début. On ne doit pas espérer que les tensions se mettent immédiatement au même niveau dans un appareil où les résistances passives sont importantes, à moins qu'on ne réalise artificiellement cette tension uniforme au moment de la pose. D'après ce qui a été dit dans l'étude qui précède, les forces additionnelles qui se présentent pendant la marche d'une façon différente dans les quatre câbles ne sont pas suffisantes pour vaincre l'inertie des poulies de compensation. Elles suffisent cependant pour modérer le glissement du câble.

Si donc le compensateur, par suite de ses résistances passives, n'est pas à même de réaliser immédiatement la répartition uniforme de la charge statique sur les quatre câbles, il faut y pourvoir par d'autres moyens. Ainsi se confirme la nécessité d'une surveillance continue par la mesure des tensions effectives. Lorsque le premier étirage consécutif à la pose s'est effectué, que les cages ont été bien réglées, on place dans un trait à charge normale les indicateurs dynamométriques que l'on repère très exactement pour la position initiale de la cage à la recette du jour. De leurs indications, on déduit les tensions dans les quatre câbles. La somme des quatre tensions doit correspondre aux charges d'extraction, abstraction faite du poids des câbles porteurs entre la cage et la poulie motrice. Puisque chaque câble doit en supporter le quart, on voit immédiatement si l'un ou l'autre est surchargé ou délesté, compte tenu de l'approximation des mesures dynamométriques  $\pm 0,2$  t. Les mesures sont faites sur chaque cage et répétées deux ou trois fois. D'après l'expérience, les écarts sont insignifiants si l'on mesure soigneusement les ouvertures des fentes.

On est donc à même de mesurer valablement la charge de chacun des câbles. Si les différences sont faibles par rapport aux erreurs probables, on continue à marcher. Dans le cas contraire, on raccourcit ou l'on allonge quelque peu les câbles intéressés et, dans ce but, les cales à changement rapide rendent de grands services. Après un jour ou deux, on vérifie par de nouveaux mesurages si l'état des câbles s'est modifié. Si c'est nécessaire, on procède encore à des allongements ou raccour-

cissements jusqu'à ce qu'on arrive à une répartition exacte de la charge statique. Pour arriver promptement à ce résultat, il faut un dispositif d'attelage qui possède un grand jeu de réglage à de très petits intervalles. D'après les expériences faites jusqu'à ce jour, il n'est pas douteux qu'avec de tels dispositifs on puisse arriver à l'égalité des tensions en un temps très court.

### c) La compensation naturelle des tensions.

Grâce au procédé de mesure qui opère sans contact plus sûrement et plus exactement qu'un mécanisme de compensation, on réalise manuellement la répartition de la charge statique. Abstraction faite des petites inégalités dans les diamètres des câbles et dans leur contractibilité, il n'y a plus que les inégalités des diamètres d'enroulement qui donnent lieu à des surtensions et à des contraintes non uniformes.

Si les différences de diamètre ne dépassent pas, après un mois de marche, une moyenne de 1,2 mm ni un maximum de 2,2 mm, cela donne, avec 5 m de diamètre normal et une profondeur de 950 m, une avance du câble le plus rapide de 230 mm ou de 420 mm respectivement. Dans ces conditions, les tensions des câbles se tiennent entre des limites telles qu'on n'a pas à craindre le dépassement des résistances passives des chaînes du compensateur ni un glissement du câble. On peut donc se demander si, en définitive, le réglage périodique à la main, aidé naturellement par l'extensibilité des câbles qui est très importante à grande profondeur, ne vaudrait pas mieux qu'un compensateur mécanique représentant un surcroît de poids mort coûteux.

En fait, il en est bien ainsi. Les observations sur la machine de Hannover ont montré que l'action du compensateur ne se manifeste par des courses appréciables des poulies que dans les premiers temps après la pose des câbles neufs. Aussi longtemps que le mou des câbles n'a pas disparu, c'est-à-dire tant qu'ils n'ont pas subi complètement leur premier allongement permanent, la répartition uniforme des charges statiques s'obtient par des raccourcissements ou allongements particuliers et en opérant manuellement. A mesure que le système des quatre câbles s'approche de l'état d'équilibre, les déplacements des poulies deviennent de plus en plus faibles. Ils cessent finalement parce que, dans le compensateur, ne naissent plus de forces assez grandes pour les mettre en jeu.

L'usure uniforme et à un taux de vitesse constant des rainures montre qu'après un certain temps il n'y a plus aucun glissement des câbles. S'il reste quelques légères différences entre les diamètres d'enroulement, elles sont compensées par allongements élastiques des câbles. A la suite de ces constatations, on a calé les poulies folles sur leur cadre et mis par conséquent le compensateur hors d'usage. On a continué l'extraction pendant longtemps sans aucune compensation et on n'a rien constaté de nouveau dans la surveillance. En particulier, l'usure



des garnitures se maintient à son faible taux. Les mesures périodiques de tension n'ont donné lieu à aucun écart normal.

L'extraction par plusieurs câbles est donc possible sans compensateur mécanique. Le chemin vers la compensation naturelle est libre. La condition requise, c'est que dans les premières semaines après la pose, on réalise à la main une répartition uniforme des charges statiques en s'appuyant sur des mesures de tension et avec un système d'attelage approprié. On peut se demander aussi s'il ne conviendrait pas de tendre complètement les câbles à la fabrique, comme cela se pratique sur les câbles des ponts suspendus ayant jusqu'à 600 m de portée. Par là, on rendrait sans doute plus rapides les opérations à la fosse et on risquerait moins d'occasionner des surtensions dans l'un ou l'autre des quatre câbles. Le procédé ne paraît pas présenter de difficultés extraordinaires même sur des longueurs de 1.000 m ; cependant, il est plus simple et moins coûteux de s'en remettre à l'étirage naturel. Cette préférence sera d'autant plus fondée que l'on disposera, pour l'attelage des câbles, de pièces de calage rapide et de grande précision. Il ne faut pas exagérer, dans ces conditions, le risque de surtensions momentanées.

Dans l'extraction par plusieurs câbles, sans com-

(\*) Mettler : « Ueber SeilSchwingungen in Schachtförderanlagen ». - Glückauf 1949, pp. ...

pensateur, la question qui doit surtout retenir l'attention, c'est celle des tensions dynamiques occasionnant les plus hautes contraintes des câbles parce que leur mode de répartition est douteux, et cette considération pourrait justifier le maintien du compensateur. Il faut donc vérifier l'intensité de ces efforts supplémentaires pendant le trait, et c'est à cela que sert aussi l'indicateur avec écrasement d'éprouvettes de plomb.

En 1950, on a fait des essais dont les résultats sont reportés au tableau ci-après pour déterminer les tensions maximums de chaque câble. La valeur moyenne la plus basse est celle du câble n° 1 sur la cage sud ; elle est de 18,9 t, ce qui représente une surcharge de 21 % par rapport à la charge statique moyenne de 15 t. La plus haute valeur se présente au câble n° 4 au-dessus de la cage nord ; elle est de 21,7 t, soit un surcroît de 45 % de la charge statique.

Le maximum absolu s'est présenté à ce même câble n° 4 du côté sud : 25 t, soit un surcroît de 67 %. Ces mesures sont approchées à  $\pm 1$  t.

Pour en juger, il faut considérer qu'elles représentent les efforts dynamiques et comparer ceux-ci à ceux d'un câble unique. D'après les essais de la G.H.H., la résonance des oscillations occasionne des surtensions de 15 % et les oscillations du câble à la fermeture du frein, 50 % (\*). Les résultats des mesures sur les quatre câbles de Hannover restent donc dans les limites habituelles. On ne peut donc conclure à la nécessité du compensateur.

Mesures des plus grandes contraintes des câbles (1) (en tonnes).

Dates des mesures	Cage nord				Cage sud			
	Câble n°				Câble n°			
	1	2	3	4	1	2	3	4
	Dynamomètre n°				Dynamomètre n°			
	1	2	3	4	1	2	3	4
28-1 -1950	18,2	22,3	23,3	18,3	15,9	15,9	17,8	25,0
7-2 -1950	18,0	19,6	24,0	24,0	18,2	22,4	22,3	23,6
22-2 -1950	22,2	16,8	20,8	21,8	19,4	19,0	20,0	19,3
14-3 -1950	21,0	20,8	18,0	20,7	17,2	22,3	17,5	20,0
6-4 -1950	17,6	22,6	22,2	24,4	18,6	22,6	22,4	21,2
13-8 -1950	19,0	19,3	18,9	21,8	—	—	—	—
27-8 -1950	17,8	20,3	18,6	20,4	18,5	19,2	17,6	19,6
26-11-1950	20,0	18,6	21,6	22,7	19,5	21,1	17,4	—
Moyennes	19,2	19,6	20,9	21,7	18,1	20,3	19,2	21,5
Augmentation par rapport à la charge statique en %	28	31	39	45	21	36	28	43

(1) Données par l'écrasement de cylindres de plomb. Charge maximum au repos 15 tonnes.

Le dynamomètre à éprouvette de plomb ne donne que la valeur de la tension maximum, mais il ne dit pas quand elle se produit. Pour obvier à cette lacune, G.H.H. a construit un dynamomètre à anneau muni d'un indicateur qui inscrit un diagramme de tout le trait. Des essais avec ce nouvel appareil ont été effectués à Hannover dans les conditions ordinaires de marche et avec le compensateur calé, ils ont donné des résultats remarquables qui seront rapportés dans la publication annoncée par la G.H.H. Bornons-nous à signaler ici que le diagramme enregistré ne montre aucune

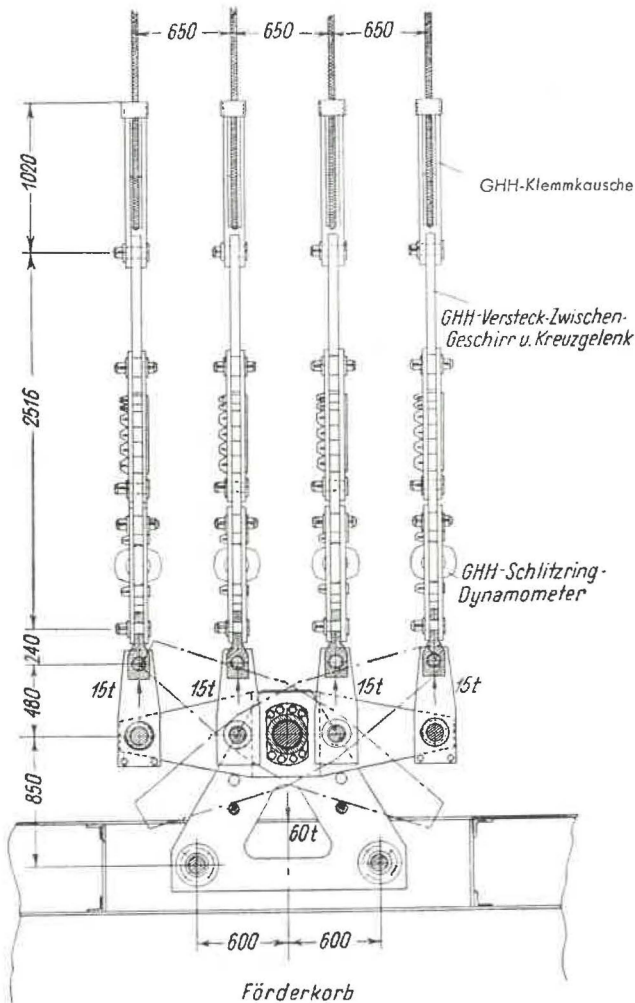


Fig. 9. — Cage - Attelage intermédiaire avec levier de compensation.  
Suspension centrale (Modèle GHH).

- GHH Klemmkausche = Pincés-câbles GHH.
- GHH-Versteck-Zwischengeschirr u. Kreuzgelenk = Réglage GHH avec crossé articulée.
- GHH-Schlitzring-Dynamometer = Dynamomètre GHH.

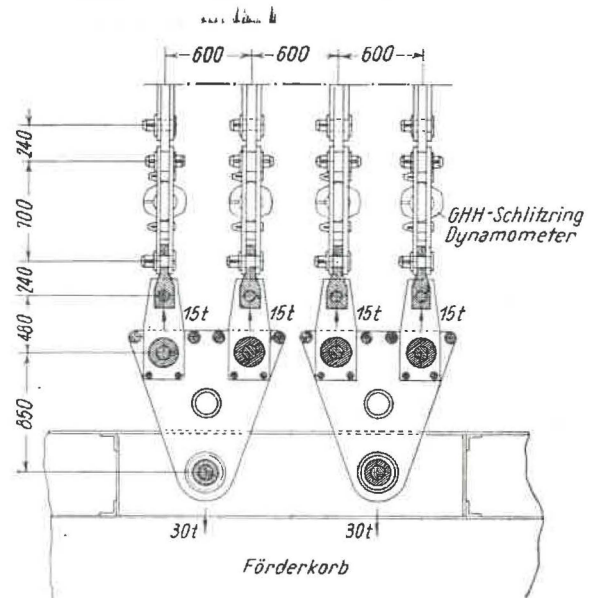


Fig. 10. — Cage - Attelage pour plusieurs câbles. Deux axes de suspension (Modèle GHH).

pointe brusque dans les variations de tension des câbles. Il est donc vraisemblable qu'il n'y a pas eu de glissements importants. Il n'y a pas non plus dans ce diagramme de points singuliers autres que ceux de l'extraction par un seul câble.

Ces essais ont confirmé le bien-fondé des conclusions précédentes. Ils ont entraîné la décision de supprimer aussitôt que possible les lourds compensateurs à poulies. Dans l'avenir, l'attache des pattes de câbles se fera par l'un ou l'autre des deux projets (fig. 9 et 10). Dans la figure 9, les câbles sont attachés, deux à deux, par des articulations à un balancier oscillant autour d'un axe central. L'objectif de cette disposition est d'éviter une suspension oblique de la cage.

Dans la figure 10, les câbles sont attachés par paires à deux pièces oscillantes afin d'obtenir une plus grande sécurité. Un des grands avantages de l'extraction par quatre câbles réside en effet dans sa plus grande sécurité du point de vue des attaches et il doit être maintenu dans tout nouveau dispositif. L'attache des câbles directement à la cage en quatre points est le système le plus sûr. Une légère obliquité éventuelle de la cage n'est pas absolument un désavantage ; elle peut donner lieu à une vérification de la charge des câbles et à un réajustement.

La question de l'extraction par quatre câbles a donc trouvé une solution qui ouvre des perspectives d'avenir et qui répond au but qu'on s'était assigné : pourvoir le bassin de la Ruhr d'une nouvelle méthode d'extraction.