

De chaque côté de cette ouverture centrale, à l'endroit des madriers de renfort, le clapet porte deux tubulures métalliques T_1 et T_2 fixées par des boulons. La figure 2 montre, la forme et les dimensions de ces tubulures.

D'autre part, à la traverse supérieure de la cage sont adaptées deux tiges en fer P_1 et P_2 qui s'introduisent exactement dans les deux tubulures T_1 et T_2 quand la cage arrive à 0^m50 du clapet. L'une de ces tiges est représentée sur la figure 2.

Sur l'assise de chaque tige repose un ressort à boudin, R_1 et R_2 , qui entoure celle-ci sur 0^m250 de hauteur et supporte une couronne circulaire, C_1 ou C_2 , de 0^m200 de diamètre, mobile verticalement. Le ressort est établi pour fléchir de 0^m100 sous un effort de 220 kgs.

Quand la cage arrive à la surface, les tiges P_1 et P_2 pénètrent dans les tubulures correspondantes du clapet que la cage soulève ensuite par l'intermédiaire des couronnes C_1 et C_2 . Grâce à l'action des ressorts R_1 et R_2 , ce mouvement du clapet se produit progressivement et l'on évite ainsi le choc habituel si nuisible à la conservation du clapet et du câble.

Ce dispositif de clapet ne nécessite ni contrepoids d'équilibre, ni poulies de renvoi, ni guidonnages supplémentaires, etc..., accessoires encombrants demandant de l'entretien et susceptibles de se déranger.

Un clapet de ce genre pèse 80 kilogrammes environ ; son prix est minime et son installation très aisée. »

NOTES DIVERSES

LE

REVÊTEMENT DES PUIITS

EN VOUSOIRS Z

PAR

MARCEL GILLIEAUX

Ingénieur à Liège

I. — Coup d'œil sur les méthodes de soutènement des puits de mines.

Les divers procédés de revêtement des puits de mines peuvent se diviser, suivant la matière employée, en soutènements en bois ou métalliques et muraillements en maçonnerie ou béton. Les deux premiers sont discontinus ou étanches. Etanches, ils prennent le nom de « cuvelages ».

Les *soutènements en bois*, uniquement employés jadis, ne servent plus aujourd'hui que dans certains cas spéciaux. L'altération rapide des bois, malgré toutes les mesures de conservation, les réparations fréquentes que nécessitent ces soutènements en ont restreint l'usage, dans les installations modernes, aux petits puits de peu de durée et aux revêtements provisoires.

Les *revêtements métalliques* donnent lieu à distinction entre cuvelages et soutènements proprement dits.

Les cuvelages métalliques, d'un usage général dans certains procédés spéciaux de revêtements en terrains aquifères, s'ils s'imposent parfois dans des cas particuliers, ont l'inconvénient d'être excessivement coûteux. A grande profondeur, leur emploi peut être limité par la difficulté d'obtenir des pièces d'une épaisseur et d'une résistance suffisantes pour les très fortes pressions hydrostatiques.

L'emploi de béton armé pourra s'imposer pour les pressions dépassant les limites pratiques de résistance des cuvelages métalliques.

Les soutènements métalliques non étanches sont entièrement ou partiellement métalliques. Ils se composent généralement d'anneaux de fer profilés et d'une garniture en tôle ou en bois servant de liaison entre deux anneaux. Les soutènements mixtes ont tous les inconvénients des revêtements en bois.

Occupant peu de place, offrant l'avantage d'une grande rapidité de pose, d'un démontage facile qui permet le réemploi et pouvant se construire de haut en bas, suivant pas à pas l'approfondissement du puits, le soutènement entièrement métallique est particulièrement avantageux comme revêtement provisoire; définitif, il présente l'inconvénient de mal résister aux poussées de terrains: les garnitures se gondolent ou se brisent; les anneaux se déforment, et rétrécissent la section du puits qui devient tortueux. La roche demeure exposée à l'action de l'air et se délite plus ou moins rapidement. Le prix élevé de la matière première en restreint encore l'emploi.

Les *muraillements en maçonnerie et en béton*, toujours continus, peuvent, exécutés, avec les soins voulus, être imperméables. Ils s'emploient aujourd'hui, dit Alfred Habets dans son *Cours d'exploitation des mines*, dans tous les puits où les terrains ne sont pas parfaits, dès qu'ils doivent durer longtemps. Ces matériaux offrent l'avantage d'être inaltérables aux agents atmosphériques; d'une grande rigidité, s'opposant aux poussées des terrains, se reliant à la roche pour former corps avec elle, ils rendent très difficiles les déformations du puits. Les réparations en sont très rares. Ils ont l'inconvénient d'exiger plus de place que le bois ou le métal, mais les avantages en sont si grands que leur emploi s'impose presque toujours. D'un prix moins élevé que celui des revêtements en métal, ils mettent les parois du puits complètement à l'abri de l'air et offrent, avec une grande sécurité et une étanchéité, relative pour la maçonnerie, complète pour le béton, de tels avantages que malgré l'obligation d'opérer par passes plus ou moins longues, dont les raccords sont toujours défectueux, et malgré la nécessité de recourir, dans la presque totalité des cas, à un revêtement provisoire coûteux et long à établir, ils sont généralement employés.

Le tableau comparatif suivant, tiré de l'ouvrage d'Alfred Habets, des différents matériaux de cuvelage, au point de vue du prix par unité de résistance, démontre péremptoirement combien les muraillements et, spécialement, les revêtements en béton sont plus économiques que tous autres.

	Bois	Fonte	Brique	Pierre	Béton
Prix par m ³	150	1800	32	120	20
Résistance par c ²	45 kg.	500 kg.	12 kg.	80 kg.	32 kg.
Rapport.	3.33	3.60	2.66	1.50	0.66

Soit, en prenant pour unité, le rapport du prix à la résistance de la pierre :

	2.22	2.40	1.77	1.00	0.44
--	------	------	------	------	------

Et en tenant compte du prix du déblai, qui augmente avec l'épaisseur :

	2.20	2.23	2.16	1.00	0.50
--	------	------	------	------	------

Ce tableau est tout en faveur de l'emploi du béton dans les conditions ordinaires. La pierre de taille viendrait en deuxième ligne au point de vue économique, à résistance égale. Il faut cependant, tenir compte en pratique, de ce que les voussoirs en pierre de taille ne peuvent descendre en dessous d'une certaine limite et que leur emploi donnerait lieu souvent à un revêtement inutilement plus solide que ne l'imposeraient les circonstances et, partant, plus coûteux.

Les muraillements en briques se font en une seule passe ou par reprises, en maçonant de bas en haut. Ils exigent généralement l'établissement d'un soutènement provisoire, et ce n'est que par très courtes reprises, multipliant les points faibles que sont les raccords et les assises intermédiaires, que le soutènement provisoire peut être supprimé. Aux puits Gillier, à Rive-de-Gier, où ce système fut employé, les reprises n'avaient que 3^m50 de hauteur.

Le muraillement en une seule passe, s'il supprime les raccords aux reprises, présente l'inconvénient de nécessiter un soutènement provisoire sur une très grande hauteur. Plus important, il doit être plus soigneusement et plus solidement construit et les matériaux ne peuvent être réemployés. Malgré toutes les précautions, ces revêtements provisoires sont relativement peu sûrs et les ouvriers plus exposés aux éboulements. Leur montage et leur démontage sont, en outre, une perte de temps. De plus, quand s'accroît la hauteur découverte, l'eau dégoulinant le long du puits en ravine les parois, ricoche de-ci, de-là, va s'accumulant avec l'approfondissement et, entraînant force pierrailles, tombe en cascade sur le dos des travailleurs.

On conçoit que ces mauvaises conditions de travail augmentent le prix de la main-d'œuvre, en diminuant l'effet utile. Aussi, le système

des reprises plus ou moins longues, atténuant ces inconvénients, est-il souvent préféré.

L'épaisseur de la maçonnerie dépend du rayon du puits et de la poussée extérieure ; elle ne descend jamais en-dessous de 1 1/2 brique, soit 0^m36. Le béton de ciment, plusieurs fois aussi résistant que la brique, peut présenter une épaisseur beaucoup moindre ; on peut généralement se contenter avec lui d'une paroi de 20 à 25 centimètres. Cette épaisseur peut être diminuée encore par l'emploi du béton armé. Les revêtements en béton présentent sur la maçonnerie de briques de tels avantages, tant au point de vue de l'étanchéité que de la résistance et du prix de revient, qu'ils s'imposent dans les exploitations modernes où ils sont généralement préférés à la brique.

Les méthodes par passe unique et par reprises sont applicables au béton comme à la maçonnerie. Cependant, quoique les raccordements aux jonctions soient ici plus difficiles à bien exécuter et généralement plus défectueux encore que pour la brique, c'est le second système qui est presque toujours adopté.

Les revêtements en béton monolithe se font en pilonnant du béton de ciment entre la paroi du puits et un gabarit mobile se déplaçant au fur et à mesure que le revêtement s'élève. Le gabarit peut être remplacé par un coffrage sur cintres.

La substitution de la pierre de taille à la brique, en vue de réduire l'épaisseur des murs, a été tentée déjà en 1856, à la fosse de Trou Martin, à Anzin ; il l'a été aussi en 1873 au siège de Tilleur du Charbonnage du Horloz. Ces exemples furent peu suivis. Cependant, ils suggéraient plus tard l'emploi de voussoirs en pierres artificielles de ciment. Essayé pour la première fois en 1890, au puits Cécile de la Mine de Sorlo, à Saarbrück, avec plein succès, le muraillement en dalles ou voussoirs en béton a été appliqué maintes fois depuis.

Tous les systèmes décrits, procédant par adjonction d'éléments vers la partie supérieure, accroissement de bas en haut et reprises successives, offrent l'inconvénient commun des raccordements défectueux, l'obligation d'établir des soutènements provisoires, coûteux et peu sûrs et du travail sur échafaudages ou planchers suspendus. Les points faibles dans les revêtements, comme tout danger d'ensevelissement des travailleurs et la sujétion de parer aux éboulements possibles, seraient supprimés par l'emploi de méthodes de muraillement de haut en bas au fur et à mesure de l'approfondissement du puits. Les cuvelages métalliques sont fréquemment posés en descendant. Nous avons vu que, malheureusement, l'emploi du métal est beaucoup plus onéreux que celui du béton.

Quelques tentatives faites jusqu'à présent à l'aide de systèmes basés sur un réseau d'alvéoles métalliques formant armature du béton, ou de dalles assemblées par tirants boulonnés trop compliqués et fort onéreux, ne répondirent qu'à une partie des desiderata, exigeant en outre des assemblages de précision, peu compatibles avec les conditions de travail au fond d'un puits en creusement. Pour remédier à ces complications, tout en réalisant un revêtement définitif, construit en descendant, homogène, résistant et étanche, j'ai imaginé de le construire en éléments de forme telle qu'ils puissent se suspendre l'un à l'autre et tels que leur poids, resserrant les joints au lieu de les

ouvrir, vienne encore ajouter à l'étanchéité.

Cette méthode de muraillement les puits en descendant, peut se décrire succinctement comme suit :

A une couronne solidement établie à la tête de l'avaleresse, sont suspendus, sitôt le creusement suffisamment avancé, une série de voussoirs de forme spéciale, formant un premier anneau de revêtement. Ces voussoirs, que représentent schématiquement un crochet double en S, se terminent, en haut et en bas (croquis I) par une nervure (1) formant crochet et tournée alternativement vers l'extrados et vers l'intrados. Après chaque nouvel approfondissement, des voussoirs semblables sont

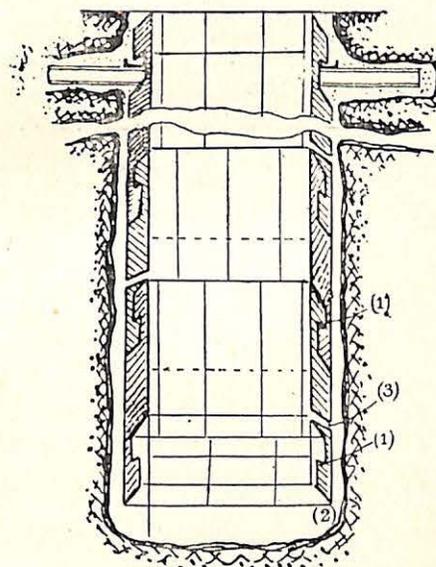


Fig. I

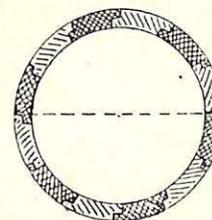


Fig. II

suspendus à la nervure inférieure de l'anneau précédent et ainsi de suite. Lorsqu'on a ainsi placé quelques anneaux, on bouche par un moyen approprié, l'ouverture annulaire (2) comprise entre le revêtement et le terrain; puis par les trous d'injection (3) ménagés dans les voussoirs, on coule un mélange semi-fluide de ciment et de sable derrière le revêtement. Dès que le mélange a fait prise, le muraillement relié aux terrains encaissants est terminé et l'on peut, sans crainte de traction exagérée, y suspendre de nouvelles séries de voussoirs.

Avant d'entrer dans les détails d'exécution d'un semblable muraillement, nous aurons à décrire de façon plus complète, le voussoir élémentaire et sa fabrication et à parler de quelques accessoires

Description d'un voussoir Z.

Forme du voussoir. — L'examen des différentes formes susceptibles de donner une bonne auto-suspension, a fait rejeter pour différentes raisons, celles basées sur les nervures perpendiculaires aux parois comme celles dérivées de l'X et de la forme en I; ces formes pourraient être préférées, cependant dans certains cas particuliers. Le crochet double en S, type de la suspension, placé radialement, répond le mieux aux exigences de la méthode dans la presque totalité des cas.

Les nécessités de la pratique et des raisons d'ordre secondaires déformant quelque peu la forme de l'S, conduisent logiquement pour le voussoir et son armature à la forme (croquis III) que nous montre une section verticale.

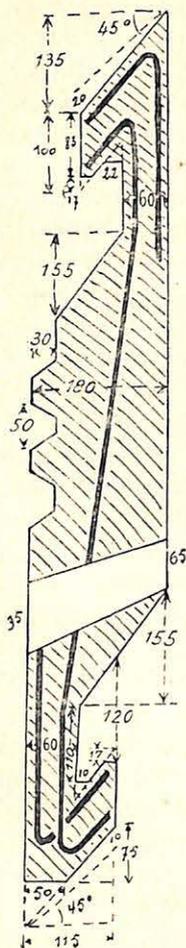


Fig. III

Comme le montre la figure, chaque voussoir est percé, au milieu et vers le bas de sa partie centrale, d'un trou légèrement incliné formant conduit pour l'injection.

Ce trou ne serait nécessaire, pour cet usage, que dans une partie des voussoirs, mais il sert également de passage à des barres dites de

liaison unissant plus intimement voussoirs, béton d'injection et terrains encaissants, il est utilisé également à la suspension du voussoir pendant la descente et la mise en place.

Les joints verticaux, pour obtenir plus d'étanchéité et une mise en place plus exacte, sont à recouvrement, comme le montre le croquis II, et l'extrados des voussoirs n'est pas lisse comme l'intrados, de façon à augmenter l'adhérence avec le béton injecté.

Armature. — Elle se compose de crochets doubles en S allant de la nervure supérieure du voussoir à sa nervure inférieure. De petits crochets simples sont en outre placés, symétriquement aux premiers, dans les nez et la section étroite (croquis III).

Ces armatures sont calculées de façon à permettre la suspension libre de la hauteur maximum de revêtement comprise entre deux passes d'injection.

Poids et dimensions d'un voussoir. — Il est avantageux pour activer la rapidité d'exécution et la pose régulière, de faire couvrir par chaque élément la plus grande surface possible, sans cependant atteindre des poids et dimensions en rendant le maniement difficile. Dans les cas ordinaires le poids de 250 à 300 kilogs ne devra pas, je pense, être dépassé. L'épaisseur des voussoirs dépendant de celle du revêtement, la surface de recouvrement effectif correspondante est de $2/3$ de mètre carré environ. Des circonstances locales, telles que la distance entre partitures, qu'il est utile de placer toujours à mêmes points dans les voussoirs soit qu'on ménage à l'avance les « potai » soit qu'on y supprime simplement l'armature, influenceront sur le plus ou moins de hauteur et de largeur à donner aux voussoirs.

Conduit d'injection. — Afin de faciliter l'écoulement du béton pâteux, il est tronconique et en pente vers l'extrados. Il faut cependant éviter d'augmenter inutilement sa longueur en l'inclinant trop. Il doit être placé aussi bas que possible dans le corps du voussoir. Quant à son diamètre qui ne peut être ni trop faible de crainte d'engorgement, ni trop grand, ce qui en rendrait le bouchage difficile, il correspond à celui du tuyau d'amenée de la boue de béton.

Jeu à l'entrée pour l'emboîtement des nervures.

Les extrémités des nervures intrados et extrados des voussoirs, étant arquées sur des rayons différant de 50 m/m., auront des flèches différentes. Pour éviter qu'une arête ne vienne buter avant que l'autre n'ait dépassé, sur toute sa longueur le bord de la nervure accouplée,

il est nécessaire, les crochets étant inclinés à 45° , que le jeu soit légèrement supérieur à la différence des flèches. Il est bon pour la facilité de la mise en place de ne pas trop le réduire.

Voussoirs spéciaux.

Le dernier voussoir d'un anneau formant clef ne pourrait être introduit par l'intrados, sans dispositions spéciales.

A cet effet (croquis IV), le nez intrados de recouvrement du premier voussoir de chaque anneau est supprimé et sa petite face, au lieu d'être radiale, est parallèle à celle de l'avant-dernier voussoir. On peut ainsi placer le dernier voussoir par l'intérieur. Il en résulte bien un point faible, mais si l'on a soin de changer son emplacement à chaque anneau, son déplacement l'empêche d'être nuisible.

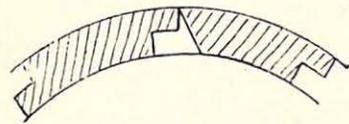


Fig. IV

Ces voussoirs laissent dans le parement une rainure qui peut être utilisée comme « potai ».

On emploie les moules ordinaires à la confection de ces voussoirs, en y logeant une fourrure occupant la partie à supprimer. Cette fourrure peut faire corps avec le fond.

Pour éviter de tailler après coup des logements pour les abouts des partibures, on peut les ménager pendant la fabrication des voussoirs; il suffit de placer dans le moule à l'endroit voulu, un prisme laissant un vide un peu supérieur à la section d'une partibure. Ces fenêtres peuvent être utilisées pour remplir de béton l'espace entre voussoirs et parois du puits.

On peut aussi se contenter de ne pas armer la partie du voussoir qui sera creusée après placement.

Fabrication du voussoir.

Composition du béton. — On peut employer n'importe quelle formule donnant un bon béton. Un mélange, par parties égales, de petit gravier et de poussière de carrière auquel on ajoute 300 kilogs de ciment au mètre cube m'a donné de très bons résultats pour les voussoirs d'essai. Ce mélange était traité avec fort peu d'eau afin de permettre un démoulage immédiat.

La substitution du laitier granulé au poussier de carrière ne semble pas à recommander.

Moule. — L'expérience des essais m'a fait modifier le moule

primitif. D'entièrement métallique, comme je l'avais conçu d'abord, il est devenu mixte en bois et fer. Les voussoirs se font, posés sur un

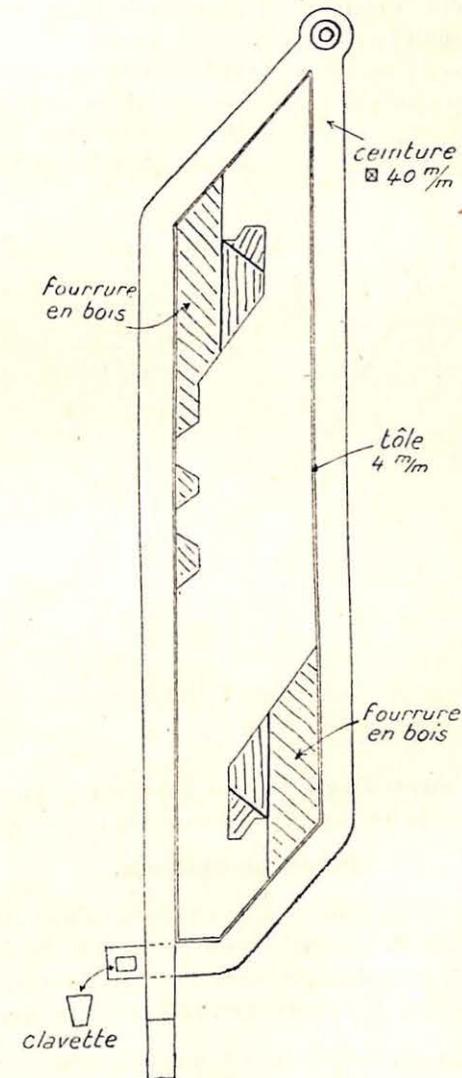


Fig. V.

fond en bois ayant la forme en z d'un des petits côtés (croquis V) : des tôles cintrées suivant l'intrados et l'extrados forment enveloppe

du voussoir et sont maintenues par de fortes ceintures. On obtient les creux des nervures par des fourrures en bois étudiées en vue d'un démontage facile. Une broche traversant le moule de part en part ménage le conduit (croquis VI).

Moulage. — Le moule monté et les fourrures en place, on déverse le béton presque sec par petites couches vigoureusement pilonnées.

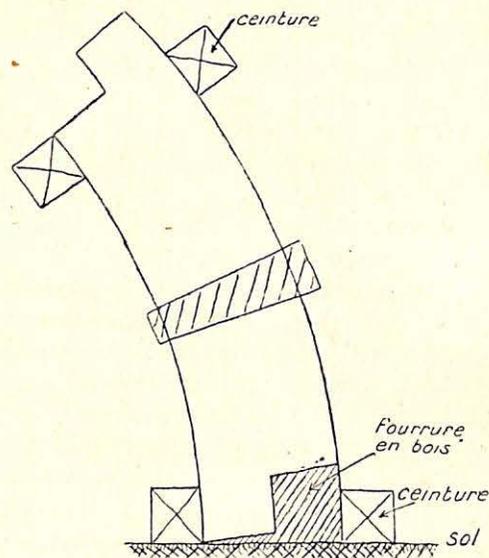


Fig. VI.

On couche les barres d'armature une à une sur le béton en les répartissant sur toute la hauteur. On démoule sitôt le voussoir terminé.

Pièces accessoires.

Couronne de suspension. — Elle est formée d'un cercle en fer U fixé sur des poutrelles normales au revêtement (croquis VII) encastées aux parois du puits dans un bon massif de béton.

La couronne doit être placée rigoureusement de niveau.

Barres de liaison. — Par les conduits non utilisés pour l'injection de béton, on passe des barres de fer (vieux bouts de rails de mines ou autres morceaux de mitrailles) s'appuyant d'une part sur les aspérités des parois du puits y pénétrant même et traversant le voussoir de l'autre.

Enfermées plus tard dans le béton injecté, elles créeront une armature de liaison entre le revêtement, le remplissage et les terrains ; éventuellement, elles peuvent agir sur le voussoir à la façon d'un clou fixant un objet à un mur vertical et reporter ainsi partie de son poids ; cependant là n'est pas leur rôle et ce serait une erreur d'en tenir compte dans un calcul d'armature.

Elles peuvent aussi provisoirement soutenir jusqu'après l'injection du grossier remplissage des cavités restant derrière les voussoirs.

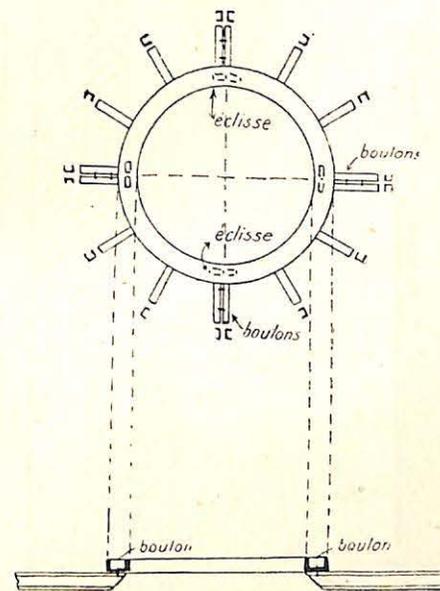


Fig. VII.

Cercle de rigidité. — Pour éviter toute déformation possible dans la section du puits et au besoin la corriger immédiatement, il peut être bon de faire suivre la pose des voussoirs par un cercle rigide indéformable ayant le diamètre du puits.

Protecteur contre coups de mines. — Dans les avaleresses où l'on se sert d'explosifs, il est nécessaire de protéger les nervures inférieures du dernier anneau, contre les projections des coups de mines, par des coussins de fascines tenus à l'aide de crochets spéciaux (croquis VIII) suspendus au conduit central des voussoirs.

Chaise porteuse des voussoirs. — Pour la descente dans le puits et la mise en place, les voussoirs sont portés sur une chaise suspendue

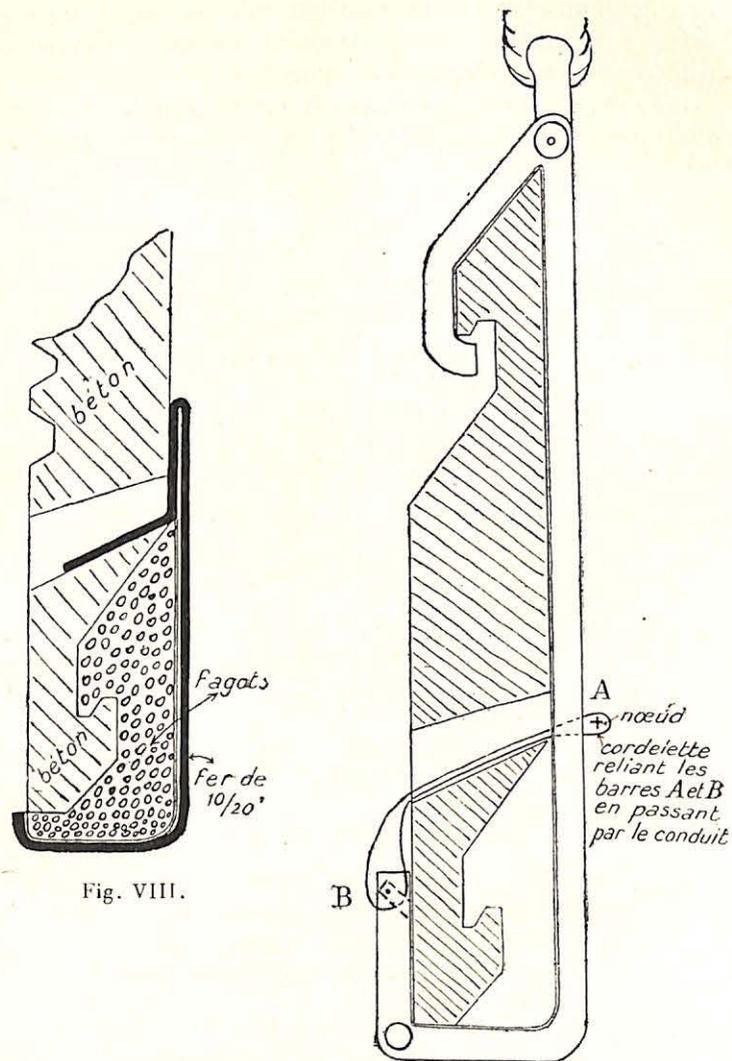


Fig. VIII.

Fig. IX.

au câble du treuil. Cet appareil (croquis IX et X) a la forme d'un triangle recourbé vers le bas pour former chaise ; un rebord mobile

autour d'un axe horizontal et maintenu vertical pendant l'usage, à l'aide d'une cordelette métallique passée par le conduit central, empêche tout glissement du voussoir.

Pour toute sécurité, un doigt mobile au sommet du triangle vient enserrer la nervure supérieure du voussoir pendant la descente. Pour la mise en place, ce doigt devant être enlevé, le voussoir est maintenu par la cordelette et le rebord de la chaise.

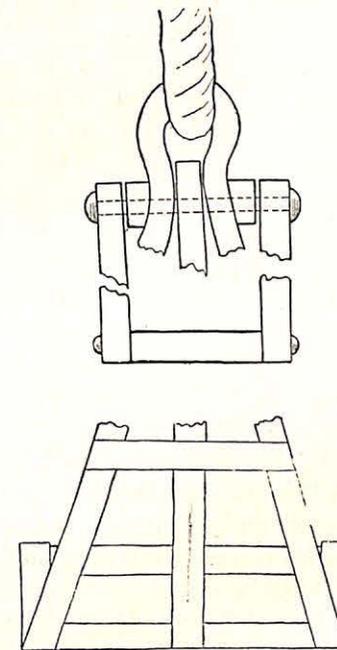


Fig. X.

Pour la pose, on présente le voussoir suspendu devant la nervure à laquelle il doit s'accrocher et il suffit de filer doucement du câble pour qu'il s'y pose de lui-même. Il suffit alors de rectifier au besoin la verticalité au moyen de petites cales.

Pour libérer le voussoir du câble, on dénoue la cordelette le maintenant sur une chaise, et il ne reste plus qu'à donner du mou au câble pour que le triangle se détache et prenne au milieu du puits sa position de remonte.

Matériel d'injection. — On emploie le matériel ordinaire à ce genre de travail, malaxeur et tuyau d'amenée. Ce matériel est trop connu pour devoir le décrire.

Construction du revêtement et organisation du travail

Pour éviter tout mécompte et familiariser les ouvriers avec le maniement des voussoirs, il serait utile de procéder à la surface, à un assemblage provisoire des premiers anneaux du revêtement. Ce travail, fort peu important d'ailleurs, permet de s'assurer que les voussoirs ne présentent aucune défectuosité et s'emboîtent sans difficulté; la correction immédiate des défauts constatés, évitera tout mécompte au cours du travail. On installe donc la couronne de suspension à la surface, quelques mètres au dessus du sol et on y accroche trois ou quatre anneaux. Le tout est alors démonté et descendu à son emplacement définitif.

Avant de commencer le creusement proprement dit, les ouvriers prépareront l'emplacement de la couronne de suspension en ouvrant autour de la section à creuser une cavité dans laquelle seront scellées plus tard les poutrelles soutenant cette couronne. Ensuite, ils avaleront le puits sur quelques mètres. Ils peuvent alors procéder au placement de la couronne, scellant soigneusement les abouts des poutrelles dans la rainure ménagée à cet effet. L'horizontalité de la couronne doit être rigoureusement vérifiée.

Cela fait, on commence le revêtement, en suspendant les voussoirs du premier anneau par leurs crochets extradados, au fer U de la couronne, préalablement rempli de ciment pâteux. Par leur poids, les voussoirs feront refluer le ciment qui déborde et fuse vers tous les interstices. On s'assure, au fur et à mesure du placement, que chaque voussoir pend bien verticalement et, au besoin, on le cale.

Aux endroits, où le vide existant derrière les voussoirs demanderait l'injection de trop de béton, quelques fers posés sur les barres de liaison et la roche formeront un grillage sur lequel on empilera des pierrailles. Le béton injecté s'infiltrant dans les vides, soudera le tout. Ce remplissage en pierres sèches se fait par le côté, en se tenant à l'emplacement du voussoir suivant de la série. On ferme l'anneau en un point où le vide est peu important.

Les joints verticaux n'étant pas fermés, le béton que l'on injectera par derrière, giclerait dans le puits. Pour y obvier, ces joints seront

calfatés au moyen de chanvre et d'étope goudronnée, ou même simplement rejointoyés.

On peut alors passer à la pose des voussoirs du deuxième anneau, en ayant soin de croiser les joints.

Au moment d'engager les nervures l'une dans l'autre, on emplit le creux de ciment pâteux. Par le poids, le ciment reflue dans tout le joint et le rend étanche. La pose se continue comme pour le premier anneau, en s'assurant toujours soigneusement de la verticalité des voussoirs. Après avoir placé ainsi trois ou quatre anneaux, jusqu'à courte distance du fond d'avaleresse, on termine la première passe à injecter.

Le béton de remplissage sera déversé pour cette première passe par la tête du revêtement entre la couronne et le terrain, les injections suivantes se feront par les conduits centraux des voussoirs et occasionnellement par les potais de partibure.

Il importe, pour couler le béton de liaison, de boucher l'ouverture annulaire inférieure de l'espace à remplir. Pour ce faire, on établit sous le dernier anneau, au fur et à mesure de la pose de chaque voussoir, un plancher sur chandelles, calfaté à la roche et contre le voussoir, par de l'étope soigneusement bourrée, on bourre encore de l'étope entre le voussoir et la paroi du puits sur quelques centimètres de hauteur et on serre fortement par des coins chassés entre les têtes de chandelles et le plancher. On jette ensuite à la pelle une petite couche de béton sur ce matelas, puis on place le voussoir suivant et ainsi de suite jusqu'au dernier; celui-ci demandera un petit tour de main spécial qui s'acquerra bien vite.

Du soin apporté à la confection de ce plancher de base et de son étanchéité dépendent en grande partie le succès de l'injection et la rapidité du remplissage.

Pour permettre l'injection de la partie supérieure de la passe suivante, on place dans les trous d'injection du dernier rang des voussoirs des broches en bois, descendant jusque dans l'étope; il suffira de les retirer après coup pour avoir des conduits vers la passe inférieure.

On peut alors faire l'injection de béton pâteux. Celui-ci sera assez fluide pour éviter l'engorgement des tuyaux, mais sans excès.

L'injection terminée, on reprend le creusement, en protégeant, si c'est nécessaire, le bas du revêtement par des coussins de fascines. La pose des voussoirs se continue comme précédemment, suivant le creusement pas à pas.

Le revêtement des puits par voussoirs Z offre de tels avantages, au point de vue technique et par la sécurité bien plus grande qu'il assure aux travailleurs, qu'il se recommande partout où la roche doit être soutenue et qu'il s'imposera dans tous les terrains déliteux, friables, ou sujets aux poussées, qui doivent être soutenus au fur et à mesure de l'approfondissement du puits. Il met complètement les travailleurs à l'abri de l'ensevelissement sous un de ces éboulements trop fréquents, que ne peuvent éviter les revêtements provisoires peu résistants et souvent hâtivement faits.

Dans les méthodes anciennes, les ouvriers travaillant au revêtement opèrent presque toujours sur des planchers volants peu sûrs, parfois simplement suspendus, et sont toujours exposés à une chute dangereuse, sinon mortelle.

Avec le revêtement construit en descendant, les travailleurs sont toujours au fond de l'avaleresse ou à faible hauteur dans le puits. En terrains aquifères, les eaux qui ruissellent des parois sont retenues par le cuvelage en béton, alors qu'un revêtement provisoire la laisse suinter de toutes parts et retomber sur le dos des avaleurs. On conçoit que, travaillant dans de meilleures conditions d'hygiène et de sécurité, les ouvriers produiront davantage.

Au point de vue technique, je ne reviendrai pas sur les avantages du système de bétonnage en descendant; qu'il suffise de rappeler que le revêtement par voussoirs Z supprimant tous joints de reprise entre deux passes est d'une homogénéité parfaite et que tout en étant peu coûteux, fait économiser encore le revêtement provisoire. Avec ce système, tous les organes du puits, échelles, tuyauteries d'exhaure et d'air comprimé, etc., peuvent être placés définitivement au fur et à mesure de l'approfondissement tandis que dans les méthodes de muraillement en montant, d'abord attachés au revêtement provisoire, ces organes doivent être démontés pour être fixés ensuite au revêtement définitif. L'eau retenue par le revêtement dans les terrains encaissants vient en proportion bien moins grande au fond du puits et l'exhaure en est notablement diminuée. Il en résulte une série d'économies accessoires qui doivent entrer en ligne de compte dans l'établissement comparé des prix de revient et qui rendent le système des voussoirs Z des plus économiques.

Les câbles d'extraction

POUR

GRANDES PROFONDEURS

par F. BAUMANN

Warmbrunn (1).

Afin de faire face aux conditions nouvelles de profondeur et de charge à extraire, on s'est vu dans l'obligation de donner aux câbles d'extraction un diamètre de plus en plus grand. Il convient cependant de maintenir cet accroissement du diamètre des câbles dans des limites pratiquement acceptables et, pour y arriver, diverses propositions ont été faites. Nous citerons :

1° L'emploi de fils d'acier d'une force de résistance à la rupture la plus élevée possible ;

2° La réduction des coefficients de sécurité généralement adoptés actuellement pour le maximum de charge du câble ;

3° La réduction des coefficients de sécurité pour le maximum de charge, mais réduction ne portant que sur la partie de cette charge constituée par le câble lui-même.

Pour ce qui concerne le 1°, la limite est naturellement donnée par le plus haut degré de perfection atteint par la fabrication des fils à haute résistance. On est maintenant généralement d'accord pour reconnaître l'utilité de l'emploi de ces fils.

Par contre, on se demande jusqu'à quel point on pourra pousser la réduction des coefficients de sécurité sans compromettre celle-ci.

Se fondant sur l'énorme augmentation de la marge de résistance au fur et à mesure de l'allongement des câbles (2), M. le Professeur Herbst préconise l'adoption des coefficients de sécurité 5 et 4 pour les grandes et très grandes profondeurs respectivement, gardant celui de 6 pour les profondeurs moyennes et petites. Repoussant toutes les

(1) Extrait du *Glückauf*, n° du 4 octobre 1913. — Traduction de G. W.

(2) Voir *Glückauf*, 1912, pp. 897 et suiv., et *Annales des Mines de Belgique*, t. XVII (1912), 4^{me} liv.

objections qui pourraient être faites contre sa proposition, il s'attache à démontrer que l'adoption de celle-ci conserverait à l'extraction une sécurité suffisante.

Les chocs occasionnés au cours de l'extraction au câble et à son attelage à la cage proviennent plus du poids de celle-ci que de celui du câble. De plus, plus le câble est long, plus les chocs se trouvent amortis par son élasticité propre. Cela étant donné, on a proposé de déterminer la sécurité du câble en prenant pour bases: le poids de la cage et celui du câble lui-même, à multiplier par les coefficients de sécurité m et n respectivement. En d'autres mots, on remplacerait le multiplicateur x s'appliquant au poids total de la cage et du câble par un autre ($m + n$) s'appliquant séparément au poids de la cage et à celui du câble. Dans ce cas, pour les grandes profondeurs, le coefficient de sécurité m pour la cage resterait inchangé; seul celui n pour le câble subirait une réduction.

Examinons l'influence de cette réforme sur la sécurité des câbles, tant au point de vue de l'augmentation de la résistance des fils qu'à celui de la réduction du coefficient de sécurité appliqué à la charge totale.

Il faudra d'abord montrer dans quelle mesure l'emploi de fils possédant une plus grande résistance à la traction, à lui seul, permet de réduire la charge du câble, et aussi comment on peut atteindre ce but par la réduction des coefficients de sécurité sans rien changer à la résistance des fils. Il s'agira alors de déterminer les profondeurs auxquelles on peut parvenir avec des câbles de divers diamètres, en donnant aux fils diverses forces de résistance et en admettant les coefficients de sécurité proposés. Il faudra enfin rechercher le diamètre à donner aux câbles pour des profondeurs déterminées et des charges à extraire répondant aux conditions de la pratique, tout en conservant une sécurité suffisante.

Appelons (1) :

P le poids de la cage, S la charge en kilos, H la hauteur d'extraction en mètres, Q la section du fil porteur en millimètres carrés, b la force de résistance à la traction (en kilogrammes par millimètre carré) des fils composant le câble neuf, m et n les coefficients de sécurité pour le poids de la cage et celui du câble respectivement.

(1) Voir *Glüchauf*, 1910, p. 1522.

De la formule connue :

$$Q = \frac{100 P}{100 b : x - H} \quad 1$$

nous tirons, étant donné que $S = 0,01 Q H$,

$$S = \frac{P}{100 b : x H - 1} \quad 2$$

$$H = 100 \left(\frac{b}{x} - \frac{P}{Q} \right) \quad 3$$

En faisant intervenir les facteurs m et n , on obtient :

$$x = \frac{m P + n S}{P + S} \text{ et } m P + n S = b Q$$

D'où l'on tire :

$$Q = \frac{m P}{b - 0,01 n H} \quad 4$$

$$S = \frac{m P}{100 b : H - n} \quad 5$$

$$H = \frac{100}{n} \left(b - m \frac{P}{Q} \right) \quad 6$$

Connaissant la section des fils porteurs, on peut calculer le diamètre du câble suivant la formule

$$d = 1,5 \sqrt{\frac{4 Q}{\pi}} \quad 7^{(1)}$$

Pour le calcul des poids des câbles S (voir tableaux 1 et 2) des hauteurs d'extraction H (voir tableau 3) et des diamètres des câbles (voir tableau 4), nous avons admis que, du jour de leur mise en service à celui de leur retrait, les fils perdent 1/3 de leur force de résistance à la rupture.

(1) Voir *Glüchauf*, 1910, p. 1523.

TABEAU I.

Poids des câbles en tonnes comparativement au poids P de la cage pour le coefficient de sécurité $\alpha = 6$ du câble usagé.

Résistance des fils $b =$ kilog. par m/m^2	150	180	210	240	
Profondeur d'extraction $H=250$ mètres.					
Poids à extraire $P =$	5 tonnes	0.9	0.7	0.6	0.5
	10 »	1.8	1.4	1.2	1.0
	15 »	2.6	2.1	1.8	1.6
	20 »	3.5	2.9	2.4	2.1
	25 »	4.4	3.6	3.0	2.6
	30 »	5.3	4.3	3.6	3.1
Profondeur d'extraction $H=500$ mètres.					
Poids à extraire $P =$	5 tonnes	2.1	1.7	1.4	1.2
	10 »	4.3	3.3	2.7	2.3
	15 »	6.4	5.0	4.1	3.5
	20 »	8.6	6.7	5.5	4.6
	25 »	10.7	8.3	6.8	5.8
	30 »	12.9	10.0	8.2	6.9
Profondeur d'extraction $H=750$ mètres.					
Poids à extraire $P =$	5 tonnes	4.1	3.0	2.4	2.0
	10 »	8.2	6.0	4.7	3.9
	15 »	12.3	9.0	7.1	5.9
	20 »	16.4	12.0	9.5	7.8
	25 »	20.5	15.0	11.8	9.8
	30 »	24.5	18.0	14.2	11.7
Profondeur d'extraction $H=1,000$ mètres.					
Poids à extraire $P =$	5 tonnes	7.5	5.0	3.8	3.0
	10 »	15.0	10.0	7.5	6.0
	15 »	22.5	15.0	11.3	9.0
	20 »	30.0	20.0	15.0	12.0
	25 »	37.5	25.0	18.8	15.0
	30 »	45.0	30.0	22.5	18.0
Profondeur d'extraction $H=1,250$ mètres.					
Poids à extraire $P =$	5 tonnes	15.0	8.3	5.8	4.4
	10 »	30.0	16.7	11.5	8.8
	15 »	45.0	25.0	17.3	13.2
	20 »	60.0	33.3	23.1	17.6
	25 »	75.0	41.7	28.8	22.1
	30 »	90.0	50.0	34.6	26.5
Profondeur d'extraction $H=1,500$ mètres.					
Poids à extraire $P =$	5 tonnes	45.0	15.0	9.0	6.4
	10 »	90.0	30.0	18.0	12.9
	15 »	135.0	45.0	27.0	19.3
	20 »	180.0	60.0	36.0	25.7
	25 »	225.0	75.0	45.0	32.1
	30 »	270.0	90.0	54.0	38.6

TABEAU II.

Poids des câbles en tonnes comparativement à la cage P , pour une résistance des fils $b = 180$ kilog. par millimètre carré du câble neuf.

Poids à extraire P tonnes	10	20	30	
Profondeur d'extraction $H = 500$ mètres.				
Coefficient de sécurité total .	$\left\{ \begin{array}{l} \dots x = 6 \\ \dots x = 5 \\ \dots x = 4 \end{array} \right.$	3.3 2.6 2.0	6.7 5.3 4.0	10.0 7.9 6.0
Facteur $m = 6$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Facteur } n = 5 \\ \text{» } n = 4 \\ \text{» } n = 3 \\ \text{» } n = 2 \end{array} \right.$	3.1 3.0 2.9 2.7	6.3 6.0 5.7 5.5	9.5 9.0 8.6 8.2
Profondeur d'extraction $H = 1,000$ mètres.				
Coefficient de sécurité total .	$\left\{ \begin{array}{l} \dots x = 6 \\ \dots x = 5 \\ \dots x = 4 \end{array} \right.$	10.0 7.1 5.0	20.0 14.3 10.0	30.0 21.4 15.0
Facteur $m = 6$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Facteur } n = 5 \\ \text{» } n = 4 \\ \text{» } n = 3 \\ \text{» } n = 2 \end{array} \right.$	8.6 7.5 6.7 6.0	17.1 15.0 13.3 12.0	25.7 22.5 20.0 18.0
Profondeur d'extraction $H = 1,500$ mètres.				
Coefficient de sécurité total .	$\left\{ \begin{array}{l} \dots x = 6 \\ \dots x = 5 \\ \dots x = 4 \end{array} \right.$	30.0 16.7 10.0	60.0 33.3 20.0	90.0 50.0 30.0
Facteur $m = 6$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Facteur } n = 5 \\ \text{» } n = 4 \\ \text{» } n = 3 \\ \text{» } n = 2 \end{array} \right.$	20.0 15.0 12.0 10.0	40.0 30.0 24.0 20.0	60.0 45.0 36.0 30.0

Dans les tableaux 1 et 2 et les diagrammes des poids des câbles comparativement à la charge de la cage (fig. 1 à 12), nous avons conservé le coefficient de sécurité $x = 6$ actuellement adopté pour la charge totale. Par contre, nous faisons varier de 150 à 180, 210 et 240 k. par millimètre carré (fig. 1 à 6) la force de résistance des fils à la rupture (b). La conséquence de cette augmentation est, comme on peut s'en rendre compte, une diminution rapide de la charge du câble.

D'autre part, si, la force de résistance à la rupture du fil ($b = 180$) restant invariable, nous réduisons le coefficient de sécurité de la

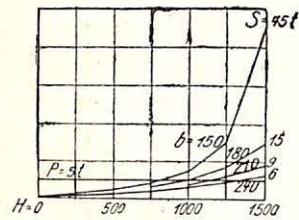


Fig. 1.

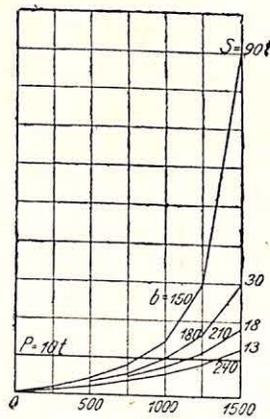


Fig. 2.

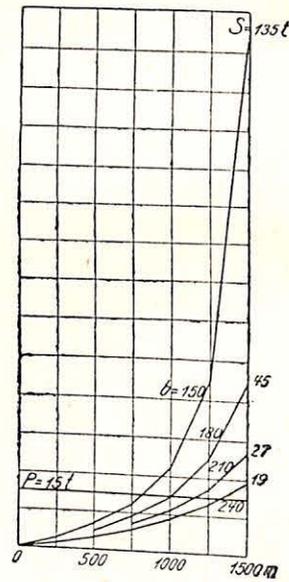


Fig. 3.

charge totale (m) de 6 à 5 et à 4 (fig. 7 et 9) et celui du poids du câble seul (n) de 6 à 5, 4, 3 et 2 (fig. 10 à 12), les variations de la charge du câble sont frappantes.

En effet, pour $x = 6$ et $b = 150$ k. par millimètre carré, le poids du câble, pour une profondeur de 1,500 mètres est 9 fois celui de la cage ; pour $b = 180$ elle n'est plus que triple, pour $b = 210$ à peine double et, finalement, pour $b = 240$, les deux charges sont presque égales.

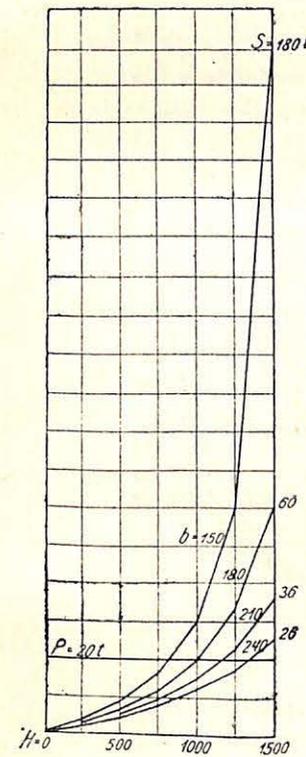


Fig. 4.

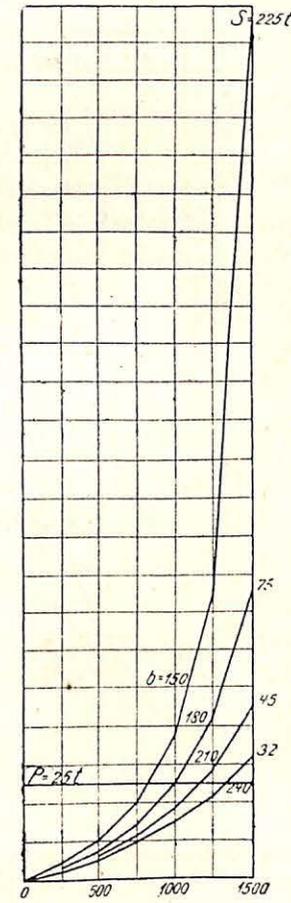


Fig. 5.

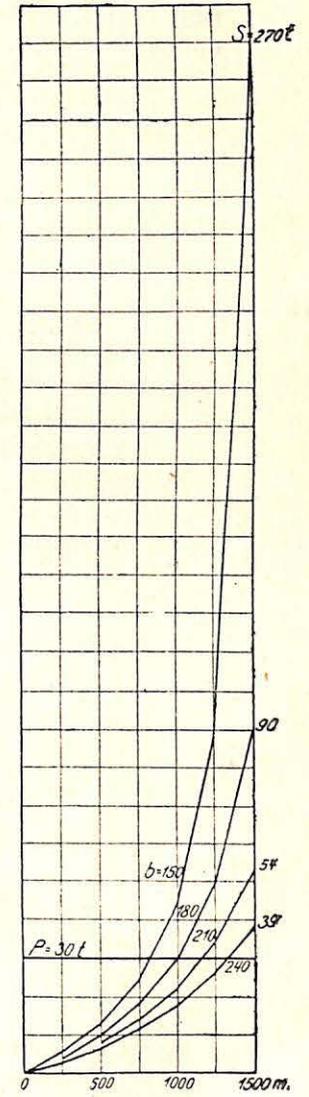


Fig. 6.

Fig. 1 à 6. — Poids des câbles S comparativement au poids de la cage P , Coefficient de sécurité : $x = 6$.

Il en résulte qu'une nouvelle augmentation de la force de résistance des fils, si même elle était possible, ne serait pas de grande utilité.

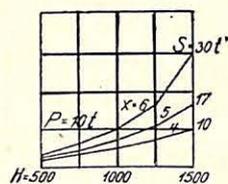


Fig. 7.

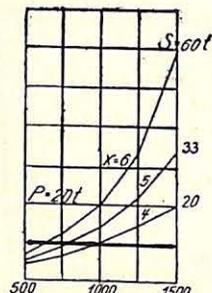


Fig. 8.

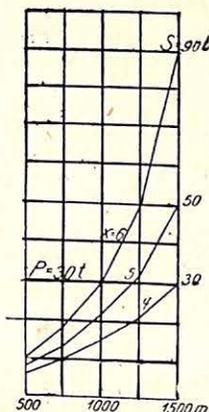


Fig. 9.

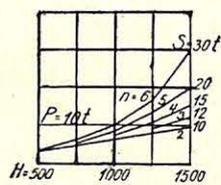


Fig. 10.

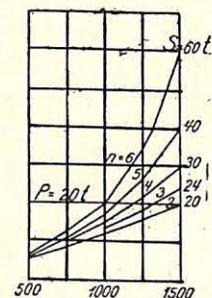


Fig. 11.

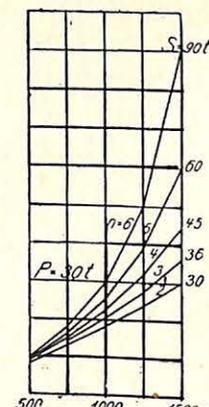


Fig. 12.

Fig. 7 à 12. — Poids des câbles S comparativement au poids de la cage P .
Résistance des fils : $b = 180$ kil. par millimètre carré.

Les diagrammes 7 et 12 montrent en effet qu'avec les données :

$H = 1,000$ mètres pour $x = 6$ et $n = 6$

$H = 1,200$ mètres pour $x = 5$ et $n = 4$

$H = 1,500$ mètres pour $x = 4$ et $n = 2$

le poids du câble égale celui de la cage. Par conséquent, dans le cas où on ne voudrait pas employer des fils d'une résistance à la rupture supérieure à 180 kil. par millimètre carré, on pourrait, pour des profondeurs ne dépassant pas 1,000 mètres, conserver le coefficient de sécurité 6 ; de 1,000 à 1,200 mètres on adopterait 5 et au delà de 1,200 mètres, 4.

Comme on aime généralement, là où les charges extraites n'ont pas un poids considérable, à rester en-dessous de 180 kil. par millimètre carré comme force de résistance des fils, et à ne pas dépasser de beaucoup cette résistance pour les charges plus fortes, nous n'avons tenu compte, au tableau 3, pour les profondeurs permettant l'emploi de câbles de 46 à 76 millimètres de diamètre, que des forces de résistance à la rupture suivantes: 150, 180 et 210 k. par millimètre carré.

Pour plus de facilité, nous n'avons tenu compte, dans le tableau 4 et les diagrammes correspondants (fig. 22 et 30) des diamètres de câbles que pour les profondeurs de 500, 1,000 et 1,500 mètres. Pour la même raison, les diagrammes des profondeurs d'extraction (fig. 13 et 21) ne s'appliquent qu'aux profondeurs permettant l'emploi de câbles ayant comme diamètre 54, 66 ou 76 millimètres.

TABLEAU III.

Profondeurs d'extraction auxquelles on peut atteindre avec des câbles de 46-76 m/m²

de diamètre et des fils d'une résistance de 150, 180 et 210 kilog. par m/m².

Résistance des fils <i>b</i>	kilog. par m/m ²	150						180						210					
		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
Section et diamètre portants : section = 750 millimètres carrés ; diamètre = 46 millimètres.																			
Coefficient de sécurité total	<i>x</i> = 6	1,000	333	—	—	—	—	1,333	657	0	—	—	—	1,667	1,000	333	—	—	—
»	<i>x</i> = 5	1,333	667	0	—	—	—	1,733	1,067	400	—	—	—	2,133	1,467	800	133	—	—
»	<i>x</i> = 4	1,833	1,167	500	—	—	—	2,333	1,667	1,000	333	—	—	2,833	2,167	1,500	833	167	—
Facteur <i>m</i> = 6	Facteur <i>n</i> = 5	1,200	400	—	—	—	—	1,600	800	0	—	—	—	2,000	1,200	400	—	—	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 4	1,500	500	—	—	—	—	2,000	1,000	0	—	—	—	2,500	1,500	500	—	—	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 3	2,000	667	—	—	—	—	2,677	1,333	0	—	—	—	3,333	2,000	667	—	—	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 2	3,000	1,000	—	—	—	—	4,000	2,000	0	—	—	—	5,000	3,000	1,000	—	—	—
Section et diamètre portants : section = 1,000 millimètres carrés ; diamètre = 54 millimètres.																			
Coefficient de sécurité total	<i>x</i> = 6	1,167	667	167	—	—	—	1,500	1,000	500	0	—	—	1,833	1,333	833	333	—	—
»	<i>x</i> = 5	1,500	1,000	500	0	—	—	1,900	1,400	900	400	—	—	2,300	1,800	1,300	800	300	—
»	<i>x</i> = 4	2,000	1,500	1,000	500	0	—	2,500	2,000	1,500	1,000	500	—	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	500
Facteur <i>m</i> = 6	Facteur <i>n</i> = 5	1,400	800	200	—	—	—	1,800	1,200	600	0	—	—	2,200	1,600	1,000	400	—	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 4	1,750	1,000	250	—	—	—	2,250	1,500	750	0	—	—	2,750	2,000	1,250	500	—	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 3	2,333	1,333	333	—	—	—	3,000	2,000	1,000	0	—	—	3,667	2,667	1,667	667	—	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 2	3,500	2,000	500	—	—	—	4,500	3,000	1,500	0	—	—	5,500	4,000	2,500	1,000	—	—
Section et diamètre portants : section = 1,250 millimètres carrés ; diamètre = 60 millimètres.																			
Coefficient de sécurité total	<i>x</i> = 6	1,267	867	467	67	—	—	1,600	1,200	800	400	0	—	1,933	1,533	1,133	733	333	—
»	<i>x</i> = 5	1,600	1,200	800	400	0	—	2,000	1,600	1,200	800	400	0	2,400	2,000	1,600	1,200	800	400
»	<i>x</i> = 4	2,100	1,700	1,300	900	500	100	2,600	2,200	1,800	1,400	1,000	600	3,100	2,700	2,300	1,900	1,500	1,100
Facteur <i>m</i> = 6	Facteur <i>n</i> = 5	1,520	1,040	560	80	—	—	1,920	1,440	960	480	0	—	2,320	1,840	1,360	880	400	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 4	1,900	1,300	700	100	—	—	2,400	1,800	1,200	600	0	—	2,900	2,300	1,700	1,100	500	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 3	2,533	1,733	933	133	—	—	3,200	2,400	1,600	800	0	—	3,867	3,067	2,267	1,467	667	—
» <i>m</i> = 6	» <i>n</i> = 2	3,800	2,600	1,400	200	—	—	4,800	3,600	2,400	1,200	0	—	5,800	4,600	3,400	2,200	1,000	—

TABLEAU III (suite).

Résistance des fils <i>b</i>	kilog. par m ²	150						180						210							
		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30		
Section et diamètre portants : section = 1,500 millimètres carrés ; diamètre = 66 millimètres.																					
Coefficient de sécurité total <i>x</i> = 6	. . .	1,333	1,000	667	333	0	—	1,667	1,333	1,000	667	333	0	2,000	1,667	1,333	1,000	667	333		
»	<i>x</i> = 5	1,667	1,333	1,000	667	333	0	2,067	1,733	1,400	1,067	733	400	2,467	2,133	1,800	1,467	1,133	800		
»	<i>x</i> = 4	2,167	1,833	1,500	1,167	833	500	2,667	2,333	2,000	1,667	1,333	1,000	3,167	2,833	2,500	2,167	1,833	1,500		
Facteur <i>m</i> = 6	Facteur <i>n</i> = 5	1,600	1,200	800	400	0	—	2,000	1,600	1,200	800	400	0	2,400	2,000	1,600	1,200	800	400		
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 4	2,000	1,500	1,000	500	0	—	2,500	2,000	1,500	1,000	500	0	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	500
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 3	2,667	2,000	1,333	667	0	—	3,333	2,667	2,000	1,333	667	0	4,000	3,333	2,667	2,000	1,333	667
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 2	4,000	3,000	2,000	1,000	0	—	5,000	4,000	3,000	2,000	1,000	0	6,000	5,000	4,000	3,000	2,000	1,000
Section et diamètre portants : section = 1,750 millimètres carrés ; diamètre = 71 millimètres.																					
Coefficient de sécurité total <i>x</i> = 6	. . .	1,381	1,096	810	524	238	—	1,714	1,429	1,143	857	571	286	2,047	1,762	1,476	1,190	904	619		
»	<i>x</i> = 5	1,714	1,429	1,143	857	571	286	2,114	1,829	1,543	1,257	971	686	2,514	2,229	1,943	1,657	1,371	1,086		
»	<i>x</i> = 4	2,214	1,929	1,643	1,357	1,071	786	2,714	2,429	2,143	1,857	1,571	1,286	3,214	2,929	2,643	2,357	2,071	1,786		
Facteur <i>m</i> = 6	Facteur <i>n</i> = 5	1,658	1,315	972	630	287	—	2,058	1,715	1,372	1,030	687	344	2,458	2,115	1,772	1,430	1,087	744		
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 4	2,062	1,643	1,215	787	358	—	2,572	2,143	1,715	1,287	858	429	3,072	2,643	2,215	1,787	1,358	929
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 3	2,762	2,191	1,620	1,049	478	—	3,429	2,858	2,287	1,716	1,144	572	4,096	3,524	2,953	2,382	1,811	1,230
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 2	4,144	3,287	2,430	1,573	716	—	5,144	4,287	3,430	2,573	1,716	860	6,144	5,287	4,430	3,573	2,716	1,860
Section et diamètre portants : section = 2,000 millimètres carrés ; diamètre = 76 millimètres.																					
Coefficient de sécurité total <i>x</i> = 6	. . .	1,417	1,167	917	667	417	167	1,750	1,500	1,250	1,000	750	500	2,083	1,833	1,583	1,333	1,083	833		
»	<i>x</i> = 5	1,750	1,500	1,250	1,000	750	500	2,150	1,900	1,650	1,400	1,150	900	2,550	2,300	2,050	1,800	1,550	1,300		
»	<i>x</i> = 4	2,250	2,000	1,750	1,500	1,250	1,000	2,750	2,500	2,250	2,000	1,750	1,500	3,250	3,000	2,750	2,500	2,250	2,000		
Facteur <i>m</i> = 6	Facteur <i>n</i> = 5	1,700	1,400	1,100	800	500	200	2,100	1,800	1,500	1,200	900	600	2,500	2,200	1,900	1,600	1,300	1,000		
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 4	2,125	1,750	1,375	1,000	655	250	2,625	2,250	1,875	1,500	1,125	750	3,125	2,750	2,375	2,000	1,625	1,250
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 3	2,833	2,333	1,833	1,333	833	333	3,500	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	4,167	3,667	3,167	2,667	2,167	1,667
»	<i>m</i> = 6	»	<i>n</i> = 2	4,250	3,500	2,750	2,000	1,250	500	5,250	4,500	3,750	3,000	2,250	1,500	6,250	5,500	4,750	4,000	3,250	2,500

TABEAU IV.

Diamètres des câbles pour des profondeurs de 500, 1,000 et 1,500 mètres et des

fils de 150, 180 et 210 kilog. par millimètre carré de résistance à la traction.

Résistance des fils <i>b</i>	kilog. par m ²	150						180						210											
		5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30						
Poids à extraire <i>P</i>		Profondeur d'extraction																							
Coefficient de sécurité total . . . <i>x</i> = 6		35	49	60	70	78	86	H 500 mètres.																	
» » . . . <i>x</i> = 5		31	44	53	62	69	76	31	44	53	62	69	76	28	40	49	56	63	69						
» » . . . <i>x</i> = 4		27	38	46	54	60	66	27	38	47	55	61	67	25	35	43	50	56	61						
Facteur <i>m</i> = 6		Facteur <i>n</i> = 5						34	48	59	68	76	83	30	43	52	60	67	74	27	39	47	55	61	67
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 4						33	47	58	66	74	81	29	41	51	59	66	72	27	38	46	54	60	66
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 3						32	45	55	64	71	78	29	40	50	57	64	70	26	37	46	52	59	64
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 2						31	44	53	62	69	76	28	40	49	56	63	69	26	36	45	51	58	63
		Profondeur d'extraction																							
Coefficient de sécurité total . . . <i>x</i> = 6		46	66	80	93	104	114	H 1,000 mètres																	
» » . . . <i>x</i> = 5		38	53	65	76	85	93	38	53	65	76	85	93	33	47	58	66	74	81						
» » . . . <i>x</i> = 4		31	44	53	62	64	76	32	45	55	64	71	78	28	40	49	56	63	69						
Facteur <i>m</i> = 6		Facteur <i>n</i> = 5						41	59	72	83	93	102	35	50	61	70	78	86	31	44	53	62	69	76
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 4						38	53	65	76	85	93	33	47	58	66	74	81	29	41	51	59	66	72
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 3						35	49	60	70	78	86	31	44	53	62	69	76	28	40	49	56	63	69
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 2						33	47	58	66	74	81	29	41	51	59	66	72	27	38	46	54	60	66
		Profondeur d'extraction																							
Coefficient de sécurité total . . . <i>x</i> = 6		93	131	161	186	208	227	H 1,500 mètres																	
» » . . . <i>x</i> = 6		53	76	93	107	120	130	48	76	93	107	120	131	41	59	72	84	93	101						
» » . . . <i>x</i> = 6		38	53	65	76	85	93	40	56	69	80	89	98	33	47	58	66	74	81						
Facteur <i>m</i> = 6		Facteur <i>n</i> = 5						59	83	102	117	131	144	31	44	53	62	69	76	27	38	46	54	60	66
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 4						46	66	80	93	104	114	44	62	76	87	90	107	36	51	63	73	81	89
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 3						40	56	68	79	88	97	38	53	65	76	85	93	33	47	58	66	74	81
» <i>m</i> = 6		» <i>n</i> = 2						35	49	60	70	78	86	34	48	59	68	76	83	30	43	51	60	68	74

Nous donnons ci-dessous des extraits des tableaux 3 et 4.

Profondeurs d'extraction maximum H en mètres.

Charge extraite P . . . tonnes		10			20			30
Diamètre du câble d millimètres		54	66	76	54	66	76	76
Coefficient de sécurité total.	$x = 6$	1,000	1,300	1,500	0	700	1,000	600
	$x = 5$	1,400	1,700	1,900	400	1,100	1,200	1,000
	$x = 4$	2,000	2,300	2,500	1,000	1,700	1,800	1,600
Facteur $m - 6$	Facteur $n - 5$	1,100	1,900	2,100	0	1,000	1,400	800
» $m - 6$	» $n - 4$	1,400	2,400	2,600	100	1,200	1,700	1,000
» $m - 6$	» $n - 3$	1,900	3,300	3,500	200	1,500	2,300	1,400
» $m - 6$	» $n - 2$	2,800	4,900	5,200	500	2,600	3,600	2,200

Diamètre des câbles en millimètres.

Profondeur d'extraction H mètres		500			1,000			1,500		
Résistance du fil à la rupture b kilog. par m^2		150			180			210		
Charge à extraire P . . . tonnes		10	20	30	10	20	30	10	20	30
Coefficient de sécurité total.	$x = 6$	49	70	86	53	76	93	59	84	101
	$x = 5$	44	62	76	45	64	78	47	66	81
	$x = 4$	38	54	66	38	54	66	38	54	66
Facteur $m - 6$	Facteur $n - 5$	48	68	83	50	70	86	51	73	89
» $m - 6$	» $n - 4$	47	66	81	47	66	81	47	66	81
» $m - 6$	» $n - 3$	45	64	78	44	62	76	43	60	74
» $m - 6$	» $n - 2$	44	62	76	41	59	72	40	56	69

L'extrait de tableau concernant les profondeurs d'extraction maxima permet de se rendre compte de l'influence du diamètre d'un câble sur la profondeur à laquelle il permet l'extraction. Cette influence, évidemment, est plus marquante quand c'est le coefficient n qui diminue que quand c'est le coefficient de sécurité total x . On peut, par exemple, étant donné $P = 10$ tonnes et $n = 4$, atteindre, en portant le diamètre du câble de 54 à 76 millimètres, atteindre une profondeur double, en admettant $x = 4$, on atteint 1 1/2 fois la profondeur; pour $P = 20$ tonnes et $n = 4$ on atteint 17 fois la profondeur et avec $x = 5$ une profondeur triple seulement.

On voit, d'après le tableau concernant le diamètre des câbles que, si l'on pose $x = 4$ pour les profondeurs de 500, 1,000 et 1,500 mètres, on obtient, les charges étant identiques, les mêmes diamètres de câbles à condition d'augmenter la résistance des fils de 150 à 180 et 210 kilogrammes par millimètre carré. Il en est de même si on admet le coefficient $n = 4$. A 1,500 mètres de profondeur, on obtient avec $x = 5$ les mêmes diamètres de câbles qu'avec $n = 4$; pour les profondeurs plus petites, on n'obtiendra ces résultats qu'en donnant au facteur n approximativement la valeur 3.

$Q - 1000 \text{ mm}^2$ $d - 54 \text{ mm}$

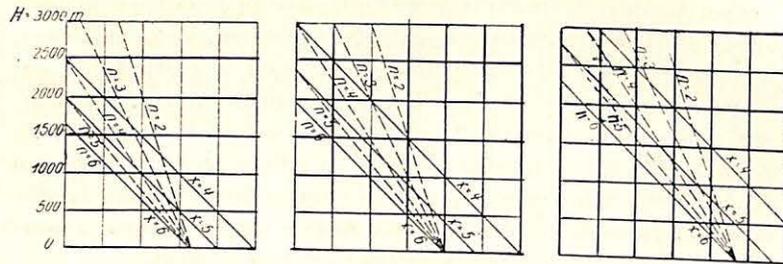


Fig. 13

Fig. 14

Fig. 15

$Q - 1500 \text{ mm}^2$ $d - 66 \text{ mm}$

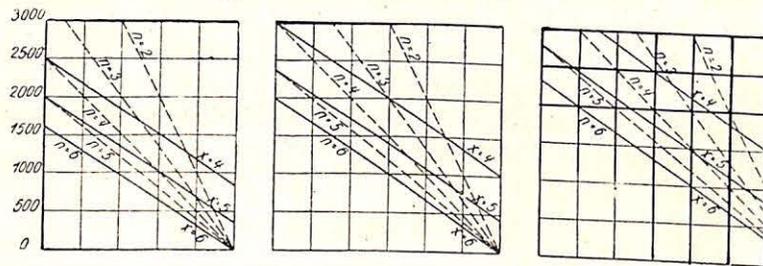


Fig. 16

Fig. 17

Fig. 18

$Q - 2000 \text{ mm}^2$ $d - 76 \text{ mm}$

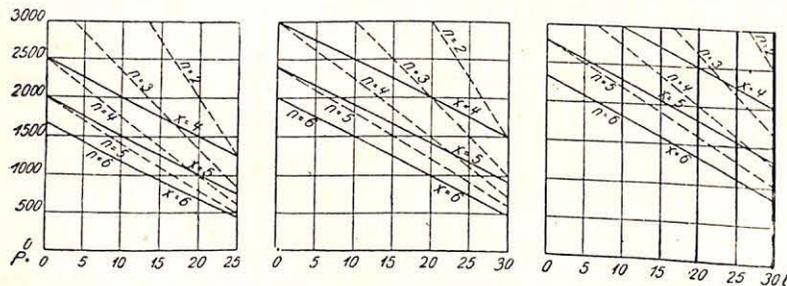


Fig. 19

Fig. 20

Fig. 21

$b - 150 \text{ kg/mm}^2$

$b - 180 \text{ kg/mm}^2$

$b - 210 \text{ kg/mm}^2$

Fig. 13 à 21. — Diagrammes des profondeurs des puits.

Dans les diagrammes des profondeurs de puits (fig. 13 à 21) on voit, pour une profondeur $H = 0$, toutes les lignes des divers facteurs rencontrer celles du coefficient de sécurité $\alpha = 6$ en un point : celui de la plus forte charge possible. Etant donné $P = 0$, on obtient, pour les facteurs $n = 6, 5$ et 4 , les mêmes profondeurs que pour $\alpha = 6, 5$ et 4 .

Dans les diagrammes des diamètres de câbles (fig. 22 à 30), pour la donnée $H = 500$ mètres, toutes les lignes pour $n = 5, 4, 3$ et 2 se trouvent entre celles pour $\alpha = 6$ et 5 et ce n'est qu'à la profondeur de 1,500 mètres que les lignes pour $n = 2$ dépassent celles pour $\alpha = 4$.

Laissons de côté les valeurs extrêmes et restreignons-nous aux données pratiquement réalisables; nous voyons qu'on pourrait résoudre de la façon suivante la question de la réduction de la sécurité des câbles :

Charge à extraire P — tonnes	Profondeur H — mètres	Coefficient pour le poids		
		de la cage	du câble	du câble et de la cage
jusque 10	jusque 1,500	$m - 6$	$n - 6$	$x - 6$
» 20	» 1,000	$m - 6$	$n - 6$	$x - 6$
» 20	» 1,500	$m - 6$	$n - 5$	$x - 5$
» 30	» 1,000	$m - 6$	$n - 4$	$x - 5$
» 30	» 1,500	$m - 6$	$n - 3$	$x - 4$

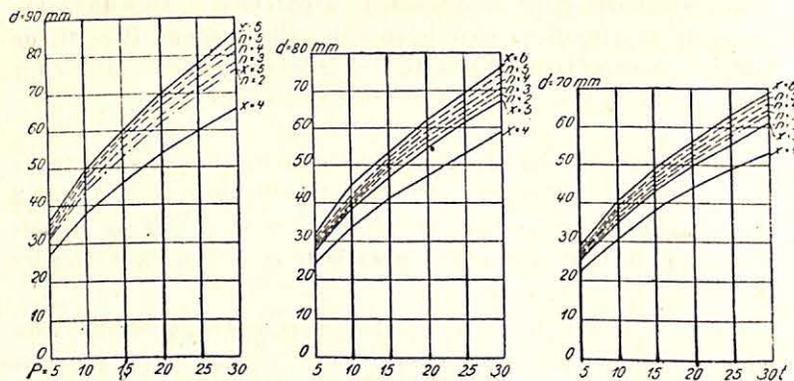
Une prescription générale au sujet du minimum de sécurité, relativement à la somme des poids de la cage et du câble, serait donc la suivante :

Pendant l'extraction des produits, il est nécessaire d'avoir constamment :

Jusque 10 tonnes de charge à extraire et jusque 1,500 mètres de profondeur : une sécurité au moins sextuple ;

Jusque 20 tonnes de charge à extraire et jusque 1,000 mètres de profondeur: sécurité au moins sextuple;

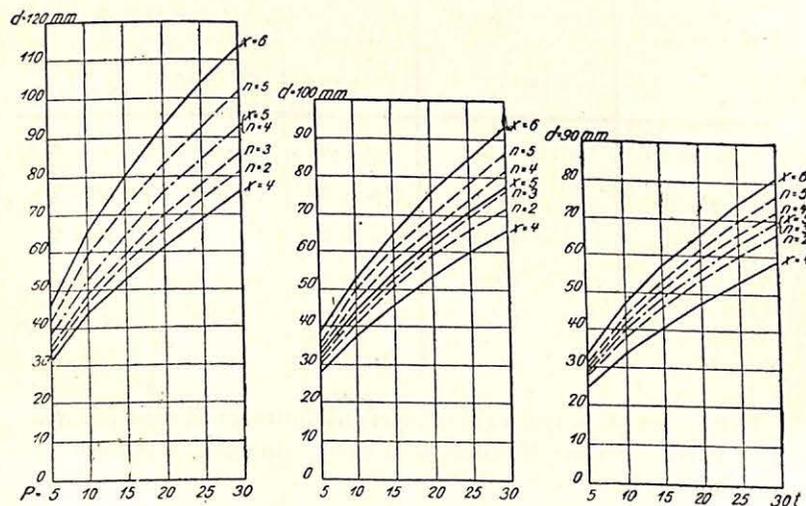
Jusque 20 tonnes de charge à extraire au delà de 1,000 mètres de profondeur : une sécurité au moins quintuple ;



$b = 150 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 22.

$H = 500 \text{ mètres}$
 $b = 180 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 23

$b = 210 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 24



$b = 150 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 25

$H = 1,000 \text{ mètres}$
 $b = 180 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 26

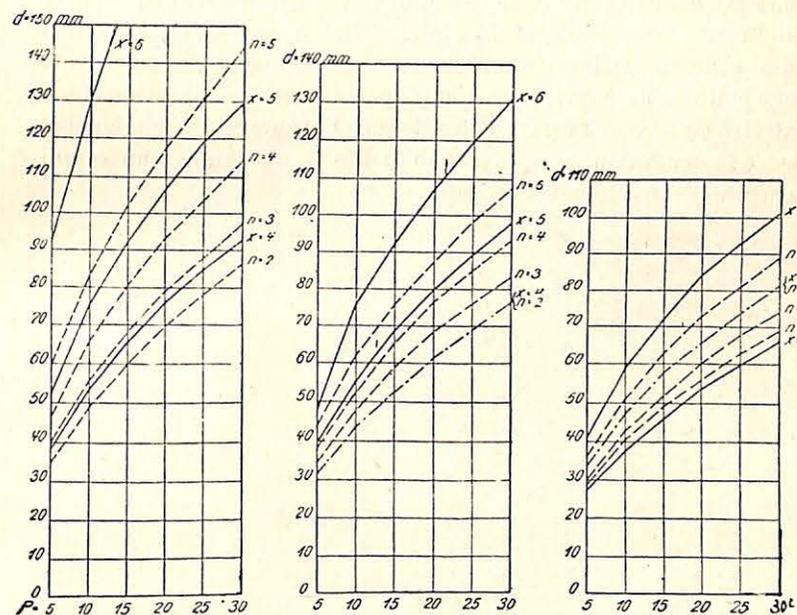
$b = 210 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 27

Jusque 30 tonnes de charge à extraire au delà de 1,000 mètres de profondeur : une sécurité au moins quintuple ;

Jusque 30 tonnes de charge à extraire au delà de 1,000 mètres de profondeur : une sécurité au moins quadruple.

Conséquemment, une prescription générale au sujet du minimum de sécurité permis relativement au poids du câble prendrait environ la forme suivante :

Si l'on conserve un coefficient de sécurité minimum de 6 se rapportant au poids de la cage remplie, il faut qu'il existe continuelle-



$b = 150 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 28

$H = 1,500 \text{ mètres}$
 $b = 180 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 29

$b = 210 \text{ kg/mm}^2$
Fig. 30

Fig. 22 à 30. — Diagrammes des diamètres des câbles.

ment, pendant l'extraction des produits, une sécurité additionnelle relative au poids du câble seul.

Jusque 10 tonnes de charge à extraire et jusque 1,500 mètres de profondeur : une sécurité au moins sextuple ;

Jusque 20 tonnes de charge à extraire et jusque 1,000 mètres de profondeur : une sécurité au moins sextuple ;

Jusque 20 tonnes de charge à extraire au delà de 1,000 mètres de profondeur : une sécurité au moins quintuple ;

Jusque 30 tonnes de charge à extraire et jusque 1,000 mètres de profondeur : une sécurité au moins quadruple ;

Jusque 30 tonnes de charge à extraire au delà de 1,000 mètres de profondeur : une sécurité au moins triple ;

La prescription relative à la réduction du coefficient de sécurité pour ce qui concerne le poids du câble seul (le coefficient actuel étant conservé pour le poids de la cage), met particulièrement en lumière l'influence de la *longueur du câble*. Celle concernant la réduction admissible du coefficient de sécurité pour la somme des poids de la cage et du câble convient particulièrement pour les câbles appelés à extraire de fortes charges ; elle a de plus l'avantage d'être simple et de s'adapter aux prescriptions habituelles et, existantes pour ce qui concerne l'extraction des produits.

LE COEFFICIENT DE SÉCURITÉ

DES

Câbles d'extraction

par le D^r SPEER, Ingénieur, à Bochum (1)

Les conditions actuelles de la pratique des mines : extraction à grande profondeur, fortes charges, croissant avec la profondeur des puits et nécessaires si l'on veut extraire dans des conditions économiques, poids considérable des câbles, qui en résulte, mettent de nouveau à l'ordre du jour la question de la détermination du coefficient de sécurité le plus réduit que l'on puisse admettre pour les câbles d'extraction.

La Commission des câbles a donc dû faire également de cette question l'objet de ses délibérations (2).

Il y a, pour réduire le plus possible le poids des câbles, deux moyens :

1° La réduction du coefficient de sécurité, la force de résistance à la rupture par 2 millimètres carrés de section restant inchangée ;

2° L'augmentation de la force de résistance à la rupture pour un même coefficient, réduit, de sécurité.

Pour ce qui concerne le premier moyen, on peut consulter le travail de M. le Professeur Herbst (3), qui recommande la réduction du coefficient de sécurité.

M. Herbst commence par calculer quel doit être l'accroissement de la section du câble au fur et à mesure de l'augmentation de la profondeur, la force de résistance des fils et, le coefficient de sécurité ne changeant pas, il arrive finalement au remarquable résultat suivant :

(1) Extrait du *Glückauf* du 18 octobre 1913 Traduction de G. W.

(2) Voir notamment la note de M. G. LEMAIRE, dans la 4^{me} livraison du tome XVIII des *Annales des Mines de Belgique*, p. 1177.

(3) Voir *Glückauf*, 1912, p. 897 et suiv., et *Annales des Mines de Belgique*, t. XVII, 4^{me} livraison.

pour une charge utile de 10,000 kgs. et une force de résistance à la rupture, dans les fils, de 150 kgs. par millimètre carré, à une profondeur de 300 mètres, une augmentation de profondeur de 10 % n'entraîne qu'un accroissement de la section du câble de 2.43 %. Tandis qu'une même augmentation de profondeur, à 1,200 mètres exige un accroissement de la section du câble de 47.8 %.

Il en conclut :

« Puisque, sur la profondeur, nous n'avons aucune action, il ne nous reste, pour diminuer le poids du câble à égalité de résistance à la rupture, qu'à réduire le coefficient de sécurité. »

Cette conclusion n'est logique, qu'à la condition que les fils employés pour les puits profonds n'aient pas une force de résistance à la rupture supérieure à celle des fils employés pour les profondeurs plus réduites, qu'à la condition, par exemple, que la force de résistance à la rupture des fils ne dépasse pas 150 kgs. par millimètre carré. Mes expériences (1) ont cependant prouvé qu'il n'y a aucune raison pour limiter cette force de résistance à la rupture des fils à 150 kilos par millimètre carré, étant donné que, pour des fils de bonne qualité, l'aptitude à la flexion augmente avec la résistance.

La limite dans cette direction étant supprimée, rien n'empêche de choisir *ad libitum* n'importe quelle résistance à la rupture et, dès lors, la conclusion de Herbst cesse d'être exacte (2).

En un autre endroit de son travail, M. Herbst attire l'attention sur le fait que, là où charge et profondeur sont considérables, la marge de résistance dans le câble devient très importante. Il dit, en effet, ce qui suit : « Là où le poids de la charge et celui du câble sont considérables, il reste encore, même avec un coefficient de sécurité de 4, une marge importante. Ainsi, par exemple, pour une charge totale (cage et câble) de 10,000 kilos, cette marge est, avec un coefficient de sécurité de 8, de 70,000 kilos; avec une charge totale de 25,000 kilos et un coefficient de sécurité de 4, la marge est de 75,000 kilos. C'est dans cet ordre d'idées que, déjà au sein de la commission transvaalienne des câbles, des voix se sont fait entendre en faveur de l'adoption d'un coefficient de sécurité « additif », d'une marge de force, au lieu du coefficient de sécurité actuel. C'est également le point de vue adopté par la commission anglaise. »

(1) Voir *Glückauf*; 1912, pp. 737 et suivantes.

(2) M. le Professeur Herbst, dans une de ses remarques, note qu'il ne lui a plus été possible de tenir compte de mes travaux sur la flexibilité des fils, parce que son article était déjà écrit lorsqu'il en a eu connaissance.

Je reviendrai plus loin sur les opinions émises par ces commissions et j'examinerai à laquelle des deux solutions il convient de donner la préférence : à celle préconisée par Herbst et qui, après toutes les explications détaillées et les tableaux qu'il lui a consacrés, semble, à première vue, être recommandable, ou à celle adoptée actuellement, celle du coefficient de sécurité « multiplicatif. »

Dans le tableau I, nous avons comparé deux câbles : l'un possédant un coefficient de sécurité de 8 et l'autre de 4 ; tous deux possèdent à peu près la même marge de force. C'est à ces deux câbles que nous avons appliqué les cas, prévus par Herbst, de surefforts statiques.

TABLEAU I.

	Coefficient de sécurité à l'origine = 8				Coefficient de sécurité à l'origine = 4			
	Charge utile	Charge de rupture	Marge de force	Marge de force par tonne de charge utile	Charge utile	Charge de rupture	Marge de force	Marge de force par tonne de charge utile
	10,000	80,000	70,000	7	25,000	100,000	75,000	3
Déchet par suite de câblage défectueux, etc. 25 %	10,000	60,000	50,000	5	25,000	75,000	50,000	2
Effort statique supplémentaire 20 %	12,000	80,000	68,000	5.7	30,000	100,000	70,000	2.3

1° Cas de la réduction de la résistance à la rupture des fils, de 25 %, par suite de câblage défectueux ou de détérioration graduelle du câble ;

2° Cas où, à la charge ordinaire d'extraction, viendrait s'ajouter un effort supplémentaire de 20 %. Cette éventualité se produit souvent lors de l'attelage de fortes charges. Dans le premier cas, la marge de force, pour les deux câbles, est identique (50,000 kilos) ; dans le deuxième, cette marge de force reste même un peu supérieure pour le câble ne possédant à l'origine qu'un coefficient de sécurité de 4.

Cette question de la marge de résistance existant encore dans le

câble d'une façon absolue, ne permet pas de décider s'il est permis de considérer les deux câbles comme d'égale valeur au point de vue de la sécurité; ce qui importe à ce point de vue, c'est la marge relative, c'est-à-dire le surplus de force que possède le câble par tonne extraite. C'est là un point qui a été omis par M. Herbst. Dans le premier cas, le câble au coefficient de sécurité primitive de 8 possède encore 5 tonnes de marge de résistance par tonne de charge extraite; tandis que celui ayant un coefficient de sécurité de 4 ne donne qu'une marge de résistance relative de 2 tonnes. Dans le deuxième cas, le premier câble donne une marge relative de 5.7 tonnes, tandis que le second câble ne donne que 2.3 tonnes.

Mais si, aux efforts statiques que nous avons considérés, nous ajoutons ceux dynamiques qui, dans le deuxième cas, peuvent parfaitement entrer en ligne de compte par suite de l'attelage de charges plus fortes, de variations plus marquées dans la vitesse de translation de la cage ou de coups de frein, la sécurité est presque réduite à zéro, c'est-à-dire que le câble se brisera.

Même si nous faisons complètement abstraction des surcharges statiques ou de la réduction statique de la force de résistance à la rupture, le câble sera encore mis en danger, en service ordinaire, s'il ne possède qu'un coefficient de sécurité de 4, par les forces dynamiques, lorsque le frein à vapeur sera mis en action. Cette éventualité se réalisera même si le câble est de bonne qualité, et cette nécessité de mettre en action le frein à vapeur peut être provoquée par une infinité de circonstances. Il est donc absolument nécessaire que les câbles possèdent une sécurité suffisante pour que la mise en action du frein à vapeur ne puisse leur nuire; or, on donne généralement aux freins une force leur permettant d'arrêter la cage, même aux plus grandes vitesses, sur une distance très réduite; un freinage de 5 mètres par seconde n'a rien d'extraordinaire et cependant, cette quantité signifie déjà que l'effort dynamique requis par le frein est plus grand que la moitié de celui de la chute libre. Les efforts ne sont donc pas ici additifs mais multiplicatifs, car les chocs sont proportionnels à la charge; ils sont même proportionnels au carré de la vitesse et comme, pour les profondeurs plus grandes, on emploiera aussi des vitesses supérieures, il ne peut être question d'une diminution ni du danger ni de l'effort, même si l'on tient note du fait qu'un câble long possède plus d'élasticité qu'un câble court.

D'ailleurs, pour les très grandes profondeurs, il peut aussi arriver que les chocs dynamiques n'intéressent qu'une courte portion du

câble: dans ce cas, la plus grande élasticité du long câble resterait sans effet.

Même, pour les grandes profondeurs, il peut, par exemple, arriver que des chocs notables se produisent non loin au dessous de la recette, de sorte que, somme toute, l'effet s'en ferait sentir sur une longueur de câble aussi réduite que s'il s'agissait de petites profondeurs. Le coefficient de sécurité restreint ou la marge peu importante de résistance prévue par tonne de charge à extraire aurait alors pour conséquence la rupture du câble tandis que, vraisemblablement, un câble pour lequel on aurait exigé les coefficients de sécurité jusqu'à présent usuels aurait pu résister.

M. Baumann est aussi, à plusieurs reprises, entré dans la lice pour plaider en faveur de la réduction du poids des câbles. Comme M. Herbst, il s'est prononcé pour une augmentation de la résistance des fils et une réduction de la sécurité.

Dans un article, publié récemment, sur *les câbles d'extraction pour grandes profondeurs* (1), constatant « l'augmentation exagérée de la marge de force au fur et à mesure de l'augmentation de la longueur du câble », il introduit une nouvelle méthode pour le calcul de la sécurité des câbles. Il reconnaît deux espèces de sécurités: l'une, *m*, concernant la charge à extraire et l'autre, *n*, concernant le poids du câble. Cette innovation a pour auteur M. le Conseiller supérieur des Mines Körfer; elle est bonne en soi et tient compte de l'avis, exprimé au sein de la Commission transvaalienne, que le câble ne prend pas sa part des chocs dans la même mesure que la charge à extraire proprement dite et la cage, et qu'un long câble est plus élastique qu'un court. M. Körfer propose de stipuler 10 pour la sécurité *m* et 4 pour la sécurité *n*, c'est-à-dire d'exiger les *sécurités initiales* les plus réduites, tandis que M. Baumann donne comme *sécurités finales* 6 pour *m* et 5 à 2 (suivant la profondeur) pour *n*.

(1) Voir *Glückauf*, 1913, pp. 1646 et suivantes, et *Annales des Mines de Belgique*, présente livraison, p. 161.

TABLEAU II.

Dimensions, etc., des câbles pour une charge de 14,400 kilos calculées suivant la formule de M. Körfer avec $m = 10$ et $n = 4$.

Profondeur m.	Dimensions du câble			Diamètre du câble m/m	Poids du câble kilog.	Force de résistance à la rupture		Charge totale	Sécurité
	Nombre des torons	fil par toron	diamètre des fils m/m			existante t.	requis t.		
Résistance : 130 kilogrammes par millimètre carré.									
300	6	27	3.1	57	11.67	159.06	157.904	17,928	8.8
400	6	30	3.0	59	12.1	165.42	163.36	19,240	8.1
500	6	37	2.8	60	12.71	173.01	169.42	20,755	8.3
600	6	30	3.1	61	12.96	176.76	175.104	23,176	7.6
700	6	37	2.9	62	13.96	185.54	183.088	24,172	7.7
800	6	37	3.0	64	14.92	198.50	191.744	26,336	7.6
900	6	37	3.1	66	15.99	212.11	201.564	28,791	7.4
1,000	6	37	3.1	66	15.99	212.11	207.96	30,390	7.0
Résistance : 150 kilogrammes par millimètre carré.									
300	6	27	2.9	54	10.19	160.7	156.228	17,457	9.2
400	6	27	2.9	54	10.19	160.7	160.304	18,476	8.6
500	6	30	2.8	55	10.59	166.32	165.18	19,695	8.4
600	6	27	3.0	55	10.89	171.88	170.13	20,934	8.2
700	6	30	2.9	57	11.32	178.56	175.696	22,324	8.0
800	6	27	3.1	57	11.67	183.54	181.344	23,736	7.7
900	6	30	3.0	59	12.1	190.98	187.56	25,290	7.5
1,000	6	37	2.8	60	12.71	199.58	194.84	27,110	7.4
1,100	6	30	3.1	61	12.96	203.94	201.024	28,656	7.1
1,200	6	37	2.9	62	13.96	214.27	211.008	31,152	6.9
1,300	6	37	5.0	64	14.92	229.17	221.584	33,796	6.8
1,400	6	37	3.1	66	15.99	244.72	233.544	36,786	6.6
Résistance : 180 kilogrammes par millimètre carré.									
300	6	27	2.6	48	8.21	154.87	153.852	16,863	9.2
400	6	22	2.9	51	8.3	157.08	157.280	17,720	8.8
500	6	37	2.3	49	8.8	161.35	161.600	18,800	8.6
600	6	27	2.7	50	8.83	167.02	166.952	19,698	8.5
700	6	19	3.1	52	9.58	171.23	170.824	21,106	8.1
800	6	37	2.4	51	9.60	175.82	174.72	22,080	8.0
900	6	27	2.8	51	9.53	179.65	178.308	22,977	7.8
1,000	6	30	2.7	53	9.81	185.58	183.24	24,210	7.6
1,100	6	37	2.5	53	10.4	190.94	189.76	25,840	7.4
1,200	6	27	2.9	54	10.19	192.78	192.912	26,628	7.2
1,300	6	30	2.8	55	10.59	199.62	199.068	28,167	7.1
1,400	6	27	3.0	55	10.89	206.22	204.984	29,646	7.0

Dans le tableau II, j'ai admis, pour les quantités proposées par M. Körfer : $m = 10$ et $n = 4$, les sécurités totales et dimensions de câbles pour une charge d'extraction de 14,400 kilos, pour des profondeurs de 300 à 1,400 mètres et pour des résistances de 130, 150 et 180 kilos par millimètre carré. Il résulte de ce tableau que, le câble étant judicieusement choisi, le coefficient de sécurité ne descend guère au dessous de 7; les coefficients de sécurité se maintiennent donc dans les limites usuelles.

Mais le calcul de la sécurité suivant cette formule est plus compliqué que suivant la méthode actuelle; de plus, cette nouvelle formule ne tient pas compte de la sécurité lors de la translation du personnel, pour laquelle il faudrait choisir, pour m et pour n , de nouvelles quantités. Il en résulterait que la formule, finalement, serait trop compliquée en pratique.

Comme nous l'avons dit plus haut, Baumann utilise la formule de Körfer, dans laquelle il attribue à m la valeur 6 et à n celle de 5 à 2, pour des profondeurs atteignant plus de 6,000 mètres (1); c'est dire que l'on peut négliger environ la moitié des chiffres donnés qui ne concernent que des profondeurs irréalisables.

A y regarder de plus près, cependant, on constate que, pour une résistance à la rupture de 210 kilos par millimètre carré, par exemple, un câble de 54 millimètres de diamètre ou 1,000 millimètres carrés de section, doit permettre l'extraction d'une charge de 5 tonnes d'une profondeur de 5,500 mètres. D'après Baumann, le poids du câble est $S = 0.01 QH = 0.01 \times 1,000 \times 5,000 = 55$ t., la charge $P = 5$ tonnes, donc la charge totale = 60 tonnes. Dès sa mise en service, le câble perd 33 % de sa résistance, il a donc encore une résistance à la rupture de $140 \times 1,000 = 140$ tonnes. La sécurité encore existante est donc $140 : 60 = 2.3$ fois. La marge de force est, à la vérité, de 80 tonnes, mais, par tonne de charge, elle n'est que de $80 : 60 = 1.3$ tonnes. Je doute fort que quelqu'un accepte la responsabilité d'admettre un tel câble. Quelle sécurité resterait-il pour les efforts dynamiques, par exemple, lors du départ, d'un changement dans la vitesse ou d'un coup de frein?

Au sein des commissions étrangères les opinions suivantes se sont fait jour :

Dans la Commission transvaalienne quelques membres, il est

(1) Voir tableau III de son mémoire.

vrai(1), étaient d'avis que, un long câble présentant une sécurité plus grande qu'un court, il n'était pas nécessaire, toutes conditions égales d'ailleurs, d'exiger dans un câble long un coefficient de sécurité aussi fort que dans un court. D'autres experts se prononcèrent pour un coefficient de sécurité de 10 (pour câbles neufs). Finalement, la Commission adopta la résolution suivante: « Après un examen approfondi de cette importante question, la Commission recommande de s'en tenir au règlement actuel qui stipule, pour toute la durée des câbles, un coefficient de sécurité de 6 au moins. Il ne pourrait être question de réduire ce coefficient de sécurité qu'après de nombreuses et satisfaisantes expériences avec des câbles de sécurité réduite, pour le transport des matériaux. Il n'a pas été présenté à la Commission de travail concernant de telles expériences. »

Au cours d'une des séances de la Commission, on a insisté sur le fait que « les efforts de choc occasionnés par des changements brusques de vitesse et autres causes semblables ne sont, en pratique, dangereux que pour des câbles courts et, pour des profondeurs de plus de 450 mètres, le choc n'est plus augmenté par une variation de vitesse. Malgré cela, la Commission ne peut se résoudre à recommander, pour les grandes profondeurs, l'adoption de coefficients de sécurité réduits par ce que d'autres efforts demandés au câble entrent en ligne de compte dont il n'a pas été possible de déterminer l'importance d'une façon exacte; il n'est pas davantage prouvé que les efforts en question sont indépendants de la profondeur ».

La Commission anglaise des câbles distingue entre « facteur de sûreté » (*factor of safety*) et « marge de sûreté » (*margin of safety*). Elle entend par marge la différence entre le poids de rupture et le poids à extraire; c'est ce mot que Mellin (2) traduit par « zone de sûreté » (*Sicherheitszone*) et que Baumann et Herbst appellent « surplus de sûreté » (*Kraftüberschuss*).

Le rapport de la Commission dit (3) que, généralement, dans les

(1) Voir *Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, 1907, p. 630 et suivantes.

(2) Voir *Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, 1910, p. 151.

(3) Voir « Report of a Committee appointed by the Royal Commission to inquire into the causes of and means of preventing accidents from falls of ground, underground haulage and in shafts », p. 21. — Extraits dans le *Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, 1910, p. 151.

mines anglaises, le coefficient de sécurité adopté pour les câbles d'extraction est amplement suffisant; les câbles présentant un fort coefficient de sécurité (de 10) ne sont pas rares. Il est cependant difficile, pour les puits profonds, de maintenir le coefficient de sécurité le plus réduit. D'autre part, il n'existe peut-être, dans l'exploitation des mines, aucun appareil qui soit soumis à des efforts d'intensité aussi variables, à des variations aussi rapides de température et de charge, que les câbles d'extraction; il s'en suit que le surplus de sécurité (la marge) doit être très important et, en fait, on le calcule largement. La Commission est d'avis qu'il vaudrait mieux déterminer, au lieu du coefficient de sécurité, un surplus de sécurité. C'est ainsi, par exemple, que pour un puits profond, avec une charge de 20 tonnes et un coefficient de sécurité de 10 pour le câble, donc avec une charge de rupture de 200 tonnes, le surplus de sécurité serait de 180 tonnes, alors que pour un puits de moindre profondeur, pour une charge de 1 tonne et une résistance à la rupture de 20 tonnes, donc avec un coefficient de sécurité de 20, le surplus de sécurité ne serait que de 10 tonnes.

Si la Commission anglaise désire voir déterminer un surplus de sécurité, ce n'est pas dans le but de réduire la sécurité pour les puits profonds mais pour augmenter la sécurité dans les exploitations à profondeur moyenne.

En Autriche, où l'on se contentait également, autrefois, d'un coefficient de sécurité de 6, on exige un coefficient de 7.

Au sujet de cette question, Divis s'exprime (1) comme suit :

« Il est difficile d'arriver à un calcul exact des fils par suite de la combinaison des efforts leur demandés, et c'est là un de ces cas, comme on en rencontre beaucoup lorsque l'on étudie nombre d'éléments de machines, où il y a bien, pour se baser, une résistance composée, mais où, dans la pratique, on ne calcule que l'effort total réellement demandé. Les efforts négligés par cette méthode sont compensés en prenant pour base du calcul ou, suivant le cas, de la détermination des dimensions, une sécurité proportionnellement plus considérable. D'une façon analogue, il convient également de réaliser le calcul d'un câble en ne se fondant que sur la charge extérieure à enlever mais en prenant pour base une sécurité supérieure.

(1) Voir *Z. d. Zentral-Verbandes d. Bergbau-Betriebsleiter Oesterreichs* 1910, p. 345.

» Il faut à plus forte raison agir ainsi lorsque l'on tient compte
 » des autres efforts imposés aux câbles (torsion, flexion), au moins
 » dans une certaine mesure, c'est-à-dire lorsque l'on prévoit ou,
 » suivant le cas, que l'on prescrit, en vue de ces deux efforts, une
 » certaine force de résistance, donc une certaine aptitude à la tor-
 » sion et à la flexion. Au surplus, il est tout à fait compréhensible
 » que, malgré les continuel et importants progrès qui s'accom-
 » plissent dans la fabrication des fils, les exigences des autorités
 » minières ne fassent qu'augmenter; à ce sujet d'ailleurs, pour
 » éviter tout malentendu, je considère comme définitives les pres-
 » criptions actuelles de l'Administration allemande au point de vue
 » de la sécurité (donc le câble doit présenter continuellement un
 » coefficient de sécurité de 7). »

Il n'est certainement pas exagéré d'exiger, pour la remonte des produits, l'existence dans le câble d'un coefficient de sécurité de 7 (en fait, le nouveau règlement de Vienne en exige un de 8), car il ne faut pas perdre de vue que la question des câbles doit être traitée d'une toute autre façon que, par exemple, celle de divers éléments de machines qui restent durant des dizaines d'années presque sans altération et sans usure; en effet, les câbles s'usent rapidement et sont de plus soumis à diverses influences, telles que la rouille et les chocs qui exercent une action intensive sur eux au point de vue de la diminution de leur qualité.

Partout, la tendance, au point de vue des exigences concernant les câbles, est plutôt à l'augmentation de la sécurité qu'à sa réduction, et cela, à mon avis, parce que la sécurité a été calculée en se basant seulement sur l'effort de traction, alors qu'on a négligé de tenir compte d'autres facteurs : compression, flexion, détorsion, etc., qui, d'ailleurs, actuellement, ne peuvent en grande partie être déterminés. Je suis d'avis qu'il ne faut pas, à moins d'absolue nécessité, diminuer le coefficient de sécurité.

Or, cette pressante nécessité n'existe pas encore; et je vais le prouver:

Pour jeter une première lueur sur la question, il faut d'abord déterminer les charges susceptibles d'être transportées dans des conditions données de sécurité, de profondeur et de poids du câble.

On obtient le poids du câble en kilos en se servant de la formule :

$G = \frac{F \cdot l \cdot \gamma}{1,000}$ dans laquelle F signifie la section du câble en millimètres carrés, l la longueur du câble en mètres et γ le poids spécifique.

La charge de rupture du câble est $P. = F \cdot k_z$. En combinant les deux équations, on obtient la longueur du câble dont le poids équivaut à la charge de rupture; c'est ce que l'on a appelé la longueur de rupture.

$$\frac{F \cdot l \cdot \gamma}{1,000} = F \cdot k_z$$

$$\text{d'où } l = \frac{k_z \cdot 1,000}{\gamma}$$

Dans cette équation pour la longueur de rupture, F est éliminé. La longueur de rupture est donc complètement indépendante de la section. Comme on peut poser en fait que les poids spécifiques des divers câbles d'extraction sont approximativement équivalents, la longueur de rupture est uniquement proportionnelle à la force de résistance à la rupture. Donc, lorsque l'on veut atteindre de grandes profondeurs, il est raisonnable d'augmenter la force de résistance à la rupture.

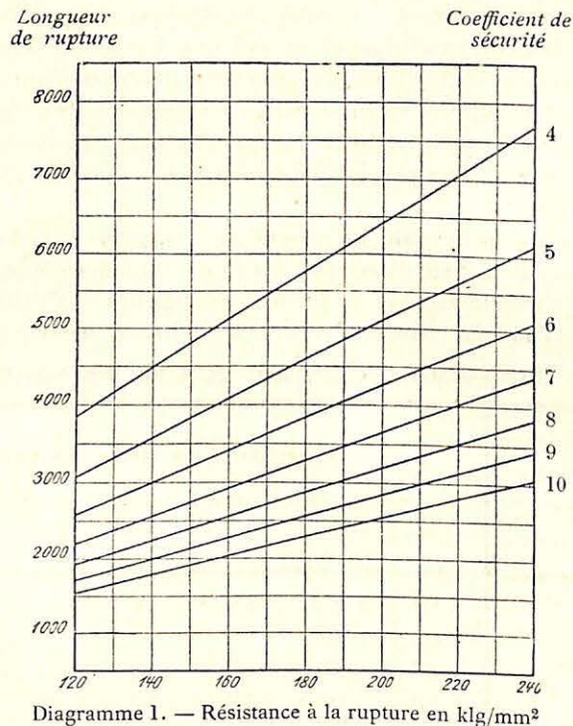
Si, dans cette formule, on assigne à k_z la valeur de l'effort permis, donc celle de la force de résistance à la rupture, divisée par la sécurité, la formule indique à quelles profondeurs l'exploitation doit cesser si l'on veut conserver certaines solidités et sécurités.

TABLEAU III. — Longueur utilisable des câbles.

Force de résistance à la rupture en kilog. par millimètre carré	Coefficient de sécurité						
	4	5	6	7	8	9	10
120	3,846	3,077	2,564	2,198	1,923	1,709	1,538
130	4,167	3,333	2,778	2,381	2,083	1,852	1,667
140	4,487	3,590	2,991	2,564	2,244	1,994	1,795
150	4,808	3,846	3,205	2,747	2,404	2,137	1,923
160	5,128	4,103	3,419	2,930	2,564	2,279	2,051
170	5,449	4,359	3,632	3,114	2,724	2,422	2,179
180	5,569	4,615	3,486	3,297	2,885	2,564	2,307
190	6,090	4,872	4,060	3,480	3,045	2,707	2,436
200	6,410	5,128	4,274	3,663	3,205	2,849	2,564
210	6,731	5,385	4,487	3,846	3,365	2,990	2,692
220	7,051	5,641	4,701	4,029	3,526	3,134	2,821
230	7,372	5,897	4,915	4,212	3,686	3,276	2,949
240	7,692	6,154	5,128	4,396	3,846	3,419	3,077

Le tableau III donne les chiffres dont la figure 1 est un diagramme ; nous avons admis pour γ la valeur de 7.8.

Pour les profondeurs données au tableau, toute possibilité d'extraction cesse avec les matériaux dont la résistance est indiquée dans la première colonne et le coefficient de sécurité signalé en tête de chaque colonne. Si la profondeur est inférieure à la longueur de câble correspondante mentionnée au tableau III, le câble peut encore supporter une charge d'un poids égal à celui du surplus de sa lon-



gueur. Par exemple, pour un coefficient de sécurité de 10, avec un câble d'une force de résistance à la rupture de 120 kilos par millimètre carré, dont la longueur, si on se fonde sur les données du tableau III, peut atteindre 1,538 mètres, on peut encore, quand la profondeur est de 1,000 mètres, suspendre au câble une charge dont le poids sera équivalent à $1,538 - 1,000 = 538$ mètres de câble ; pour une section de 1 millimètre carré, ce poids est donc de

$$\frac{538 \times 7.8}{1,000} = 4.27 \text{ kilos, donc, pour un câble d'une section}$$

de 500 mm² de section, on peut encore enlever une charge de $500 \times 4.27 = 2,135$ kilos. Si l'on double la section, la charge est également doublée ; un câble de 1,000 mm² de section est donc capable de transporter une charge de 4,270 kilos. Si, au lieu de doubler la section du câble on en double la force de résistance à la rupture, le poids transportable par un câble de 500 mm² de section et du même coefficient de sécurité (10), devient :

$$\frac{500 \times (3,077 - 1,000) \times 7.8}{1,000} = 2,077 \times 3.9 = 8,100 \text{ kilos à}$$

comparer avec les 2,135 kilos obtenus ci-dessus. Cet exemple montre donc qu'une augmentation de la force de résistance à la rupture est autrement avantageuse au point de vue rendement et économie que l'augmentation de la section.

On peut, de la façon indiquée, calculer la section de câble nécessaire pour n'importe quelle profondeur et n'importe quelle charge, avec une résistance à la rupture et un coefficient de sécurité donnés.

Pour les profondeurs de 600 et 1,500 mètres, ces sections, pour les coefficients de sécurité de 6, 8 et 10 et des charges de 10,000 et 14,400 kilos ont été calculées par moi, et ce, pour des forces de résistance à la rupture de 120-240 kilos par millimètre carré, de 10 en 10 kilos par millimètre carré. Les valeurs trouvées sont, représentées graphiquement pour une charge de 10,000 kilos dans le diagramme 2 et, pour une charge de 14,400 kilos dans le diagramme 3, dans lesquels toutes les ordonnées représentent les sections et toutes les abscisses les profondeurs. Afin de ne pas rendre difficile la lecture de ces diagrammes, nous n'avons noté que les valeurs pour les résistances à la rupture allant de 20 en 20 kilos.

Les points de même sécurité et de même résistance à la rupture ont été réunis par des lignes.

Il s'en suit que les câbles actuellement en usage, composés de 6 torons de chacun 36 fils, suffisent, étant donnée une charge de 14,400 kilos, pour une profondeur de 1,500 mètres. Pour un coefficient de sécurité de 8 et une force de résistance à la rupture de 170 kilos par millimètre carré, il faut un câble d'une section de 1,500 millimètres carrés en chiffres ronds ; pour un coefficient de sécurité de 8 et une force de résistance à la rupture de 180 kilos par millimètre carré, il ne faut plus qu'une section de 1,330 millimètres

carrés, c'est-à-dire qu'un câble composé de 6 torons chacun de 36 fils de 2^{mm}8 de diamètre, est amplement suffisant. Il n'y a donc, jusqu'à présent, aucune bonne raison de réduire le coefficient de sécurité.

Section en mm² Résistance à la rupture (sécurité) en kg./mm²

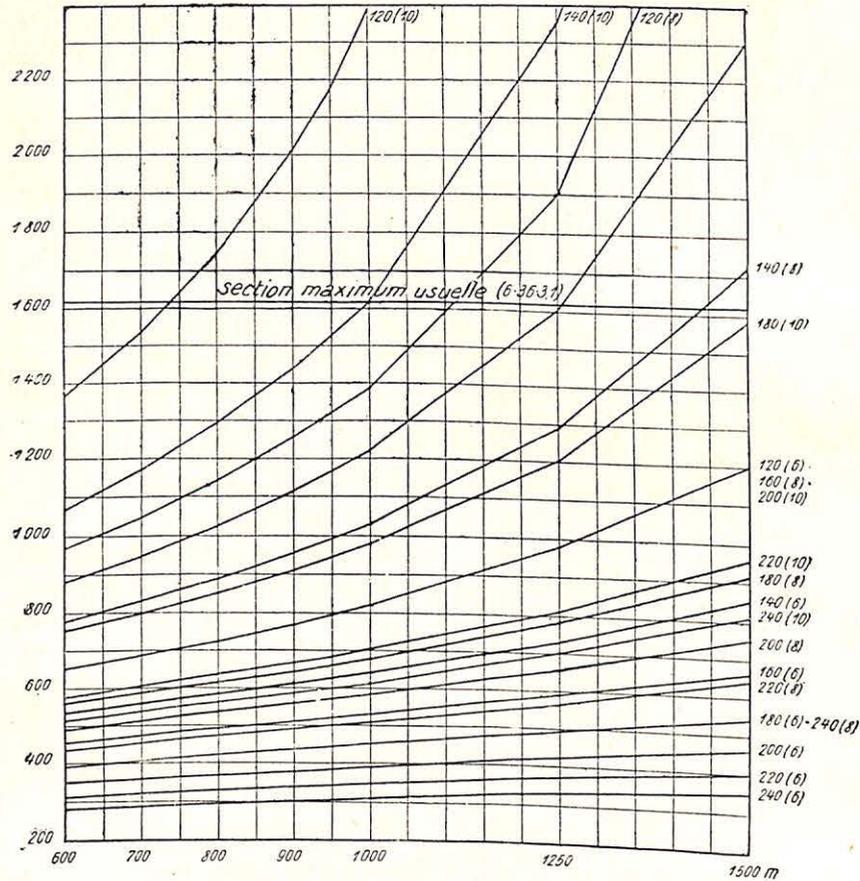


Diagramme 2.

Dans l'exemple ci-dessus, nous nous sommes fondés sur un coefficient de sécurité de 8. On peut se demander si ce coefficient de sécurité n'est pas supérieur à celui de 6, le plus réduit que l'on exigerait

lors de la mise en service du câble. Herbst et Baumann prétendent, en effet, que les câbles doivent présenter, lors de leur mise en service, une sécurité supérieure de 50 % à la sécurité la plus réduite lors de la fabrication. Ils partent de cette idée que le service que fait

Section en mm² Résistance à la rupture (sécurité) en kg/mm²

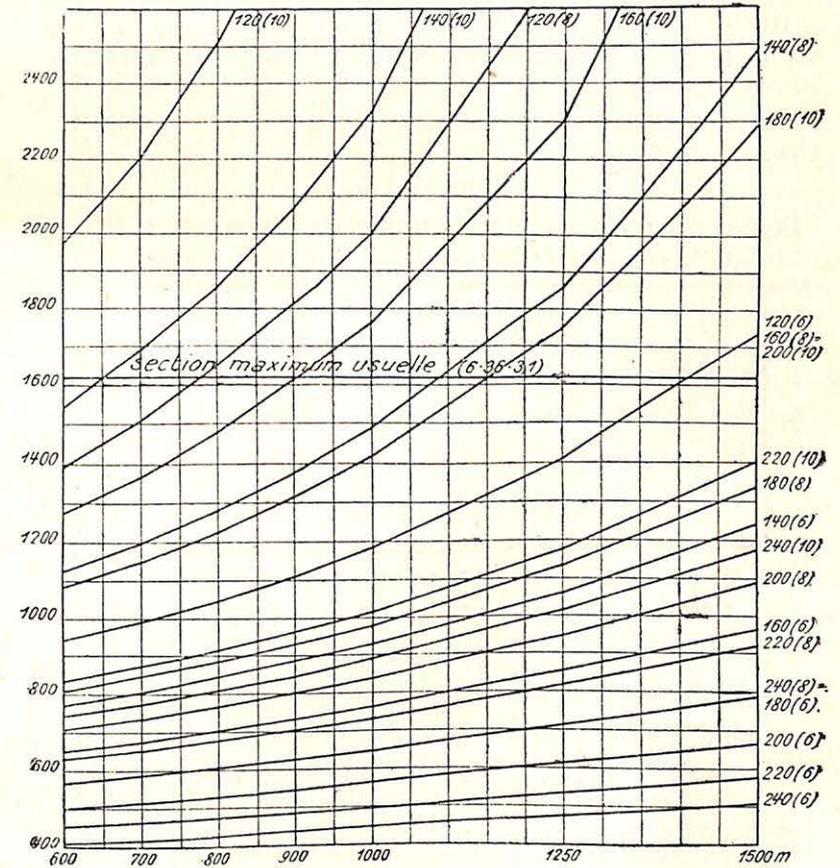


Diagramme 3.

le câble fait tomber d'autant sa sécurité. C'est une erreur : on peut se convaincre, en consultant le tableau IV, que la sécurité du câble ne diminue, du fait du service auquel celui-ci est soumis, que dans

une faible mesure. Il est rare qu'un câble soit mis au rebut parce qu'il ne possède plus la force portante ou la sécurité nécessaires; le plus souvent, ces câbles possèdent encore une sécurité supérieure à la sécurité minimum admise.

On voit donc que ce n'est pas la traction imposée au câble qui joue le rôle principal, mais bien les divers efforts tels que la flexion, la torsion, le frottement, etc. Ce sont ces efforts qui finissent par avoir raison de la résistance, de la sécurité du câble avant que la force de traction de celui-ci n'ait atteint le coefficient minimum de 6.

D'après les règlements français (1), un câble doit être mis au rebut dès qu'il a perdu 30 % de sa sécurité; dans les mines allemandes un tel déchet ne se produit pas, ou au moins très rarement, mais si ce déchet n'atteint pas 30 %, un surplus de force de 50 % est indubitablement superflu.

TABLEAU IV.

Examen des câbles mis au rebut pendant les années 1910 et 1911
(Câbles de plus de 950 millimètres carrés de section)

Nombre	Section en millimètre carré	Sécurité		Diminution %	Force de résistance moyenne à la rupture kilog. par m ²	Profondeur moyenne mètres	Durée moyenne de service jours
		à la mise en service	au rebut				
1910							
8	950—1,000	8.90	8.1	9.0	160	501	487
18	1,000—1,100	8.40	8.2	2.4	154	510	437
16	1,100—1,200	8.25	7.85	4.9	162	541	469
2	1,200—1,300	8.35	7.25	13.0	158	551	492
3	≤ 1,300	8.00	7.4	7.5	162	568	385
1911							
44	950—1,000	8.50	8.2	2.5	159	461	510
39	1,000—1,100	8.20	7.8	4.9	159	530	468
21	1,100—1,200	8.70	7.3	16.1	157	546	530
4	1,200—1,300	8.30	7.5	9.6	156	564	596
7	≤ 1,300	8.20	7.6	7.3	166	704	485

(1) Voir rapport de la Commission des câbles envoyée en Belgique et dans le Nord de la France, p. 334.

Dans le tableau IV nous avons fait une liste de tous les câbles de section de plus 950 millimètres carrés mis au rebut pendant les années 1910 et 1911. Nous nous sommes servis, pour la dresser, de la statistique des câbles. Ces chiffres constituent une confirmation de ce que nous disions plus haut : que dans la plupart des cas, la diminution de sécurité est très peu importante et qu'on atteint à peine, comme limite, le coefficient de sécurité de 6. Rien n'empêche donc de mettre en service des câbles présentant une sécurité de 7.

Je suis donc d'accord avec Herbst et Baumann pour déclarer que, pour les grandes profondeurs, il est possible et suffisant de se contenter d'un coefficient de sécurité de 7, mais je ne suis plus de leur avis quand ils prétendent que, par là, le coefficient de 6 prescrit jusqu'à présent est et peut être diminué. Il me paraît donc dangereux et, au point de vue économique, désavantageux, d'admettre un coefficient de sécurité inférieur à 7 lors de la mise en service du câble.

Dans cet ordre d'idées, se pose une autre question : Est-il nécessaire d'exiger, lors de la mise au rebut du câble, l'existence d'une sécurité minimum, ou bien ne suffit-il pas d'exiger l'existence de cette sécurité lors de la mise en service, tout en prescrivant qu'il faudra rebuter le câble lorsque celui-ci sera défectueux, c'est-à-dire lorsque, après un examen consciencieux, il aura été reconnu que le câble n'est plus en état de servir? Je pose cette question aux divers intéressés. Dans le district minier de Dortmund, 25 à 33 % des câbles en usage sont des câbles Koepe; on en exige une sécurité initiale de 7, pour la remonte des produits et de 9.5 pour le transport des hommes. Ces câbles ne sont pas éprouvés pendant la durée de leur service et, jusqu'à présent, on n'a pas constaté que ces câbles présentaient une sécurité inférieure à celle des câbles à tambour. A mon avis, on pourrait, sans hésiter, étendre cette conclusion aux câbles à tambours et ainsi exprimer un principe s'appliquant également à tous les câbles. Ce serait un service à rendre à l'industrie minière que de supprimer l'obligation de cette épreuve qui pèse sur elle, et parfois lourdement, depuis un quart de siècle et qui, d'ailleurs, dans l'état actuel de nos connaissances des câbles, a peu de valeur. C'est avec raison que les Anglais (1) ont appliqué à cette prescription le qualificatif de « trompeuse », parce que, somme toute, l'extrémité

(1) Voir rapport de la Commission des câbles envoyée en Angleterre, p. 267.

inférieure du câble, qui est toujours la partie essayée, est bien rarement la plus mauvaise. En fait, il est excessivement rare que des câbles soient mis au rebut comme suite de cette épreuve trimestrielle; en effet, prenons, par exemple, l'année 1911; nous voyons qu'on n'a rebuté, à la suite de l'inspection que 3.7 % de la totalité des câbles à tambour. Il y a donc eu 96.3 % des rebuts causés par l'existence de défauts extérieurement visibles. Evidemment, il faudra toujours renouveler autant que possible la partie du câble par où celui-ci est attaché au tambour; tous les trimestres, on les raccourcira ainsi de 6 mètres environ, tout au moins pour ce qui concerne les câbles en service depuis au moins un an. Il faudrait aussi prescrire que les câbles mis au rebut et qui ne sont pas utilisés ailleurs, soient essayés aux endroits où l'usure s'est plus particulièrement manifestée ou où se font sentir la majorité des efforts; c'est d'ailleurs ce qui se pratique actuellement avec les câbles Koepe; le but de cette épreuve est de faire acquérir aux employés responsables une expérience du degré d'usure que doit montrer le câble pour être rebuté.

Finalement, il est certain que l'augmentation de la force de résistance des câbles, même s'il se produit une amélioration de la qualité de la matière première employée dans leur fabrication, a cependant une limite; or, une réduction de la sécurité se traduisant par un désavantage économique et un danger, on devra, peut-être déjà pour des profondeurs de 1,500 mètres, trouver d'autres voies et moyens d'exploitation. A mon avis, il convient déjà peut-être à une profondeur de 1,200 mètres de diviser l'extraction, ce qui, malgré les transbordements mécaniques nécessaires peut se faire sans grande perte de temps.

Il est vrai que les frais d'installation seraient augmentés mais la sécurité de l'extraction en serait accrue et les avantages économiques pourraient ainsi se contrebalancer.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

DES

Mines, Minières, Carrières et Usines métallurgiques et leurs dépendances

Situation au 30 juin 1913

I. — Province de Liège.

Les Centrales électriques et autres stations de production de l'énergie électrique annexées aux charbonnages et à leurs dépendances, telles que fabriques de coke et d'agglomérés, sont au nombre de 54; elles disposent de 116 groupes électrogènes, d'une puissance totale de 29,959 KW (1), se répartissant en 60 dynamos à courant continu, d'une puissance de 3,075 KW, et 56 alternateurs à courant triphasé, d'une puissance de 26,884 KW.

Les alternateurs produisent du courant sous des tensions efficaces de 220, 225, 500, 525, 550, 1,050, 2,100, 3,000 et 3,150 volts.

Les stations superficielles de transformation, empruntant le courant primaire aux Centrales dépendant des établissements miniers et du dehors, sont au nombre de 52, comprenant 85 transformateurs statiques, de 8,944 KVA, 46 transformateurs rotatifs fournissant du courant continu, de 4,443 KVA; ensemble 131 transformateurs, de 13,387 KVA.

Parmi les transformateurs statiques, 2, de 430 KVA, sont alimentés par une Centrale étrangère aux mines de houille et aux industries connexes et 83, de 8,514 KVA, par des stations génératrices dépendant de celles-ci.

La tension du circuit primaire des transformateurs alimentés par la même Centrale étrangère varie de 6,200 à 6,300 volts.

Les circuits secondaires des transformateurs statiques et rotatifs servent à l'alimentation de moteurs souterrains et superficiels et à l'éclairage tant au fond qu'à la surface.

(1) Abréviations : KW = kilowatt ; KVA = kilovolt-ampère.