

L'allégement du matériel d'extraction

Une application dans une mine belge à grande profondeur

SAMENVATTING

De uitputting van de steenkolenvoorraden nabij de oppervlakte en de noodzakelijkheid de productie te concentreren op een klein aantal zetels van grote capaciteit, brengt de verplichting mede lichtere uitvoeringen van het extractiematerieel na te streven.

Geroepen zijnde tot medewerking aan de werken van de « Commission du Sous-sol Borain » van het « Institut de Recherches Economiques du Hainaut », hebben wij in de schoot van dit organisme een volledig begrip ontmoet van het aldus gestelde probleem. Bezorgd om iedere poging tot verbetering van de situatie der mijnen van de Borinage aan te moedigen, heeft het « Institut de Recherches Economiques du Hainaut », onder impuls van zijn actieve directeur, de Heer Max Drechsel, besloten een proef met lichte ophaalkooien voor intensieve extractie in de bedrijfszetel n° 2 van de « Charbonnage du Rieu du Cœur » te Quaregnon, te subsidiëren. De enige verdieping van deze bedrijfszetel, op 1350 m onder de oppervlakte, is de diepste van Europa.

Wij hebben het nuttig geacht dit lofwaardig initiatief, waarvan de lessen buitengewoon leerrijk zullen zijn voor de ontginning van de steenkolenbekkens van het zuiden van België, te doen kennen.

Het eerste doel van de hiernavolgende nota wordt gevormd door de voorafgaande studie waarop de interventie van de « Commission du Sous-sol Borain » zich heeft gebaseerd. Zij beschrijft o.m. de buitenlandse realisaties die wij hebben kunnen bestuderen namelijk in Engeland en in Canada.

Het tweede deel, waarvan de Heer Jean Saucez, Ingenieur A.I.Ms., verbonden aan de « Charbonnage du Rieu du Cœur » de redactie heeft verzorgd, geeft de gedetailleerde resultaten van de proefnemingen die sinds een jaar in deze mijn in uitvoering is.

RESUME

L'épuisement des gisements houillers proches de la surface, l'impérieuse nécessité de concentrer la production des bassins du Sud de la Belgique en un petit nombre de sièges à grande capacité de plus en plus profonds, ont pour conséquence inéluctable l'allégement du matériel d'extraction.

Appelé à collaborer aux travaux de la Commission du Sous-Sol Borain de l'INSTITUT DE RECHERCHES ECONOMIQUES DU HAINAUT, nous avons eu la faveur de rencontrer au sein de cet organisme une parfaite compréhension de l'importance du problème ainsi posé. Soucieux de favoriser toute tentative d'amélioration de la situation des mines du Borinage, l'Institut de Recherches Economiques du Hainaut, sous l'impulsion de son actif Directeur, M. Max Drechsel, a décidé de subsidier un essai de cages légères pour une extraction intensive au siège n° 2 du Charbonnage du Rieu du Cœur, à Quaregnon, dont l'étage unique, le plus profond d'Europe, est situé à 1 350 m sous le niveau du sol.

Nous avons cru opportun de faire connaître cette heureuse initiative et cette expérience dont les enseignements seront éminemment profitables pour l'exploitation des bassins houillers du Sud de la Belgique.

La première partie de la note qui va suivre constitue l'étude préliminaire sur laquelle s'est fondée l'intervention de la Commission du Sous-Sol Borain. Elle fait état de réalisations étrangères qu'il nous a été donné d'étudier en Angleterre et au Canada notamment.

La seconde partie, dont M. Jean Saucez, Ingénieur A.I.Ms, attaché au Charbonnage du Rieu du Cœur, a bien voulu accepter la rédaction, relate dans le détail l'expérience effectuée dans cette mine.

Nous remercions vivement l'Institut de Recherches Economiques du Hainaut et M. Van Weyenberg, Directeur-Gérant du Charbonnage du Rieu du Cœur, d'avoir apporté leur concours à pareille entreprise, et d'avoir autorisé la publication du présent article. Nous remercions également la S.A. des Trains de Roues du Centre, à Bois-du-Luc, constructeur des cages légères, et spécialement MM. Barbier, Administrateur-Délégué, et Malpas, Ingénieur, de leur active collaboration et des nombreux renseignements qu'ils nous ont procurés.

L. BRISON,
Professeur
à la Faculté Polytechnique de Mons.

PREMIERE PARTIE

L'allégement du matériel d'extraction Son intérêt - ses possibilités - ses conséquences

par L. BRISON.

I. LIMITES DE LA CAPACITE D'EXTRACTION D'UN PUITTS

La *capacité horaire d'extraction* d'un puits est produit de la charge utile élevée, par cordée, et du nombre de cordées par heure.

Le *nombre de cordées par heure* est déterminé par la vitesse moyenne de translation dans le puits, par la profondeur de l'étage à desservir et par la durée des manœuvres aux recettes. Par suite de la limitation des accélérations de démarrage et de ralentissement, la *vitesse moyenne* dépend largement de la profondeur : pour les bons puits à guidage rigide, elle passe de 8 à 9 m/seconde, à la profondeur de 250 m, à 15 ou 18 m/seconde vers 1 400 m. Rien ne fait prévoir que ces valeurs puissent être notablement dépassées dans l'avenir.

Quant à la *durée des manœuvres*, elle a pu être sensiblement réduite, depuis une vingtaine d'années, grâce à la mécanisation des recettes et à l'augmentation de capacité des berlines. Il ne semble pas, cependant, qu'elle puisse jamais descendre en dessous de 15 à 20 secondes, dans les cas les plus favorables, si le puits est desservi par cages, ou 10 à 12 secondes s'il est desservi par skips.

Les graphiques de la figure 1 montrent la variation avec la profondeur du nombre de cordées possibles par heure, pour des durées respectives de manœuvres de 60, 40 et 20 secondes. La réduction du temps de manœuvre de 60 à 20 secondes augmente de 73 % la capacité horaire théorique du puits, pour l'extraction à 300 m de profondeur, mais ce bénéfice n'est plus que de 40 % à 1 000 m et de 35 % à 1 500 m.

Si l'on tient compte des temps morts, ces chiffres doivent être sensiblement réduits, et l'on doit

constater que l'incidence, sur la capacité du puits, d'une diminution drastique du temps de manœuvre, devient très faible pour les profondeurs supérieures à 1 000 m.

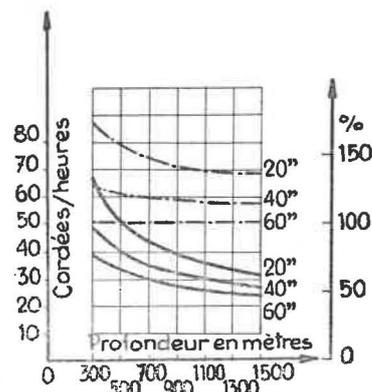


Fig. 1.

Il est donc naturel de voir dans l'augmentation de la charge utile par cordée le seul moyen de conserver à nos puits une capacité payante, pour l'exploitation des gisements inférieurs dans le bassin du Sud.

Un accroissement de 25 ou de 30 % de cette charge utile relève, en effet, de 25 ou 30 % le *tonnage horaire effectif*, quel que soit le niveau de l'étage desservi.

Malheureusement, la limite des possibilités est vite atteinte, dans cette direction.

Avec les types courants de cages et de berlines, ou de skips, construits en acier doux, les chiffres relevés dans de nombreuses mines montrent qu'il existe, entre le poids mort et la charge utile d'ex-

traction, une relation traduite par les courbes moyennes de la figure 2. La charge utile croît plus vite que le poids mort. Cependant, pour l'extraction par cages, si elle passe de 5 à 10 tonnes, la charge totale suspendue à la patte du câble passe sensiblement de 12 à 22,5 tonnes.

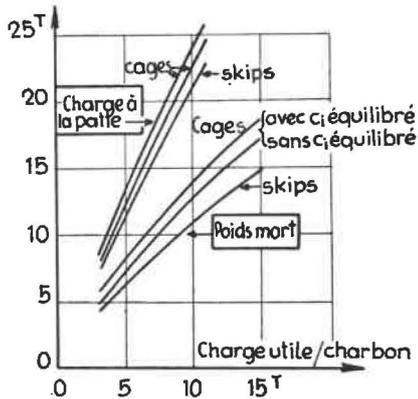


Fig. 2.

Indépendamment des restrictions d'encombrement imposées aux cages par le diamètre des puits, la hauteur des chevalements, la puissance des machines, et aux berlines par la section, les rayons de courbure et l'état du raillage des galeries, on sait que la charge utile est limitée en fonction de la profondeur par la résistance du câble le plus robuste que l'on puisse mettre en service.

Les possibilités pratiques des câbleries et des constructeurs de machines d'extraction font considérer comme tel le câble rond de 75 mm de diamètre, en fils d'acier à 200 kg/mm², dont la charge de rupture est voisine de 600 tonnes. En tablant sur un coefficient de sécurité à la pose de 6,5, sous charge statique, on arrive à partir de cette donnée au tracé de la loi qui lie la charge utile et la capacité horaire théorique maxima à la profondeur d'extraction (fig. 3).

Si l'on veut utiliser des câbles plats, les limites sont de loin inférieures, car il paraît impraticable d'utiliser des câbles dont la charge de rupture dépasserait 300 tonnes.

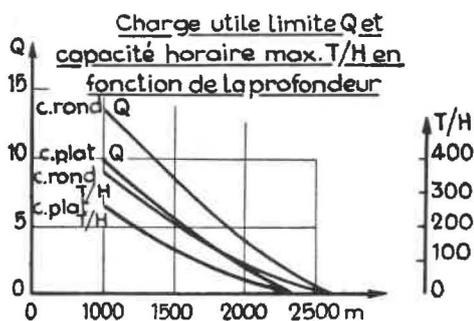


Fig. 3.

Le recours au système multi-câbles (1) pourrait certes reculer considérablement la limite de profondeur à laquelle il est possible d'extraire une charge utile donnée. Encore n'est-il applicable qu'à des machines Koepe, montées sur châssis tours et desservant des puits relativement larges.

L'adoption de cette solution dans le cas d'un ancien puits impliquerait le renouvellement complet du châssis à molettes, de la machine et du bâtiment d'extraction, au prix d'immobilisations considérables et d'un temps de chômage assez long.

Malgré l'intérêt qu'offre le système multi-câbles pour l'équipement de puits nouveaux, il ne permet pas de résoudre les problèmes immédiats qui se posent aux mines des vieux bassins, à savoir :

1° l'accroissement de la capacité horaire, aux moindres frais, avec les installations existantes;

2° l'augmentation de la profondeur limite d'extraction de charges payantes, dans les anciens puits qui atteignent les gisements profonds de 1 200 m, 1 300 m et au delà.

Les exploitants seront donc fatalement amenés, à bref délai, à diminuer le poids mort des cages ou des skips pour déplacer vers le haut les courbes de la figure 3. L'allègement du matériel d'extraction, condition sine qua non de rentabilité des houillères profondes, a retenu depuis longtemps l'attention d'éminents Ingénieurs. Lahoussay, entre autres, y a consacré en 1933, une remarquable étude, dans la « Note Technique n° 198 du Comité Central des Houillères de France ».

II. REDUCTION DU POIDS MORT

La réduction du poids mort peut être envisagée, en principe, de trois points de vue différents :

1° Augmentation de la charge utile, à profondeur donnée, d'une installation existante, par substitution à chaque tonne gagnée sur le poids mort d'une tonne de charge utile. La charge totale à la patte et la somme des masses en translation sont ainsi inchangées.

2° Augmentation de la profondeur-limite d'extraction, pour une charge utile donnée, sans changement de l'installation, en substituant à chaque tonne gagnée sur le poids mort une tonne de câble. La charge totale à la patte est diminuée, mais le diamètre, le type, le poids métrique du câble, de même que les masses en translation, demeurent inchangés.

3° Dans une installation existante, à profondeur déterminée, économie sur les dépenses en câbles et en force motrice, en réduisant le poids mort sans augmenter la charge utile. Le poids total de câble

(1) Voir Lange (Glückauf 14-2-1948), et J. Verwilt (Ann. des Mines de Belgique, novembre 1954).

rond diminue, suivant le graphique de la figure 4, d'après Lahoussay, d'environ une tonne par tonne gagnée sur le poids mort, à la profondeur de 1 000 m. Par conséquent, à cette profondeur, toute réduction de 1 tonne sur le poids mort de la cage entraîne une diminution de 4 tonnes sur les masses en translation, dans une installation Koepe, et de 2 tonnes sur le poids total des 2 câbles. L'économie réalisée sur la pointe de consommation au démarrage est appréciable.

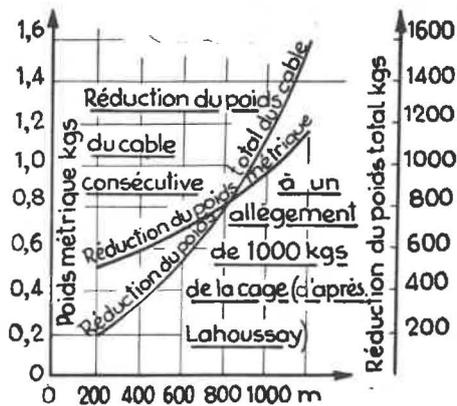


Fig. 4.

Il en est de même de l'économie sur le prix des câbles : pour une charge utile de 8 tonnes, celle-ci représente 6,5 % du prix d'achat des cordes, par tonne de poids mort gagnée sur chaque cage.

III. REVUE DES POSSIBILITES D'ALLEGEMENT

Dans l'ordre logique où elles se présentent à l'esprit, les possibilités d'allègement sont les suivantes :

1° *Etude rationnelle de la construction*, en vue de l'utilisation optima du poids de métal.

Sur bon nombre de types de berlines en service, il est possible de réduire le poids mort de 10 à 15 %, notamment par substitution de la soudure à la rivure pour les assemblages des caisses et des châssis, par le remplacement des châssis classiques en profilés par des fonds en tôle emboutie ou en acier coulé portant directement les essieux et les pièces d'attelage.

L'examen attentif de petits détails peut donner des résultats étonnants. Dans un charbonnage du Borinage, le bord des berlines est renforcé par des I rivés à âme épaisse. Leur remplacement par des L soudés permettra, tout en augmentant la rigidité, de gagner 23 kg, soit 6 %, sur le poids mort du wagonnet (380 kg).

Il n'est pas douteux non plus qu'un gain de poids soit possible sur pas mal de cages, par modification de la construction : utilisation plus large

de la soudure, incorporation des tôles de parois à l'ensemble résistant, etc...

Souvent, on a tendance à exagérer les dimensions des pièces de contour des cages, pour parer aux conséquences de mises à taquets brutales. Le montage des taquets sur des supports amortisseurs peut réduire les effets dynamiques de telles manœuvres. Cette possibilité est loin d'avoir été exploitée à fond.

Le remplacement des paliers de cages en profilés rivés par des paliers en acier coulé bien étudiés a permis depuis longtemps, au charbonnage d'Henries-Pommerœul, de ramener de 6 300 à 4 850 kg le poids d'une cage à 8 berlines. Le gain réalisé, soit 1 450 kg, représente :

23 % du poids de la cage vide,

16 % du poids mort (cage + berlines),

9,5 % de la charge totale à la patte du câble, lorsque la cage est chargée de ses 6 tonnes de charbon.

Cette transformation augmente relativement peu le prix de la cage et ménage toutes les facilités de réparations, car les paliers sont démontables.

2° *Utilisation d'aciers spéciaux* tels qu'un alliage à haute résistance titrant 0,35 de carbone, 2,6 de Ni, 0,7 de Cr et 1,5 % de Mo, dont la charge de rupture après traitement thermique est de 90 kg/mm² sous 12 % d'allongement, et la limite élastique de 65 kg/mm².

Cette solution a fait ses preuves depuis une quinzaine d'années à Limbourg-Meuse. Elle vient d'être adoptée à Houthaelen. Transposée aux conditions de l'exemple précédent, elle permet de gagner 2 200 kg sur les 6 300 kg de la cage vide classique, soit 23 % du poids mort et 14 % de la charge totale à la patte, pour une charge utile de 6 tonnes.

Le prix de revient dépasse de 60 à 100 % celui de la construction en acier doux, mais les cages résistent plus longtemps, tout au moins dans l'installation sans taquets à laquelle nous nous référons.

En Amérique du Nord, il existe plusieurs cages en acier inoxydable. Nous avons vu au Canada une de ces unités, en état impeccable malgré 17 ans de bons et loyaux services sans peinture ni entretien. Elle était construite en acier 18/8 et coûtait 3 fois plus qu'une cage ordinaire. En Belgique, elle serait plus chère.

L'emploi de l'inoxidable permet, dans des puits où les eaux sont très agressives, de réduire les épaisseurs de métal par la suppression du risque de corrosion. Il en résulte un allègement appréciable, qu'il est malheureusement impossible de chiffrer de façon générale.

La construction en acier spécial présente un inconvénient pratique: il n'est généralement pas pos-

sible d'obtenir des métallurgistes, en petites quantités, les profilés et les tôles de la nuance désirée. La solution n'est applicable que si l'on peut en commander plusieurs dizaines de tonnes à la fois.

3° Emploi d'alliages légers à base d'aluminium.

Il existe des alliages d'aluminium et de magnésium, cuivre ou zinc, parfois chrome, en addition de 0.15 à quelques pour-cents, dont les caractéristiques mécaniques peuvent être rendues voisines de celles de l'acier doux, avec des poids spécifiques environ 3 fois plus petits. Les alliages ultra légers, tel le métal Elektron, à plus de 90 % de Mg, ne sont pas à considérer ici, et c'est dommage, car leur densité est 5 fois plus petite que celle de l'acier.

La construction complète en alliage d'aluminium allège le skip ou la cage proprement dits de 30 à 50 %. Une construction mixte, dans laquelle montants et contours principaux sont en acier, le reste en alliage léger, entraîne une réduction de poids de 25 à 40 %, suivant les cas. Son prix de revient dépasse de 65 à 100 % celui de la construction en acier.

Un timide essai de ce matériel a été fait en Allemagne vers 1927, sans grand écho. Mais l'idée a été reprise en Europe depuis la guerre :

En Angleterre, 8 puits au moins, dont 5 à forte extraction, ont été équipés de cages ou skips légers, avec bons résultats. En France, des installations plus récentes, en nombre au moins égal, donnent satisfaction. En Belgique, de petites cages auxiliaires ont été mises en service à Fontaine-l'Évêque, avant que soit entreprise l'expérience du Rieu du Cœur.

En Afrique du Sud, aux États-Unis, et surtout au Canada, le matériel d'extraction en alliage léger a droit de cité depuis longtemps.

Au Canada en particulier, les mines d'or du Nord de l'Ontario, qui extraient à des profondeurs de 1 000 à 2 500 m, en ont équipé une centaine de puits, entre 1934 et 1940. En 1945, Bailey signalait que plusieurs unités, âgées de plus de 10 ans, y étaient en parfait état (2). En août 1954, nous avons pu visiter une vingtaine de ces installations canadiennes : les cages ou skips, en service régulier, y portaient allègrement de 2 à 17 années. Huit d'entre eux comptaient plus de 5 ans.

Des essais de berlines légères sont tentés un peu partout, voire même en Belgique où plusieurs centaines de ces véhicules sont en service, notamment à Helchteren et Zolder. C'est cependant aux États-Unis et en Angleterre que ce matériel s'est surtout répandu, comme le montre un article de Bridge-

water, dans « Colliery Engineering » de novembre 1954.

La construction totale ou partielle des caisses et châssis en alliage léger entraîne des réductions de poids d'au moins 25 % pour les petites berlines et de plus de 50 % pour celles de 3 000 litres. Des essais de trains de roues légers ont, jusqu'à présent, conduit à des échecs.

Ce tour d'horizon nécessairement sommaire suffit à montrer que l'allègement du matériel d'extraction a cessé d'être une vue de l'esprit. Il a fait l'objet de réalisations importantes, qui ont résisté au feu de l'expérience industrielle.

Ce sont les alliages d'aluminium qui permettent la plus grande économie de poids mort. Il convient donc d'examiner leur utilisation d'un peu plus près.

IV. UTILISATION DES ALLIAGES A BASE D'ALUMINIUM

De tels alliages sont couramment utilisés par diverses industries, sous forme coulée, laminée à chaud ou à froid, extrudée, avec ou sans traitement thermique, etc... Leur poids spécifique varie de 2.65 à 2.79, au lieu de 7.8 pour l'acier doux, tandis que leurs propriétés mécaniques répondent à une gamme d'exigences fort étendue :

Charge de rupture par traction :	10 à 60 kg/mm ²
Allongement :	3 à 30 %
Limite élastique :	4 à 50 kg/mm ²
Dureté Brinell :	25 à 150
Module d'élasticité :	environ 1/3 de celui de l'acier.

Ces caractéristiques dépendent, non seulement de la nature et de la proportion des divers constituants, mais aussi du traitement thermique ou de l'érouissage de l'alliage. Il en est de même de la résistance à la corrosion, laquelle est particulièrement influencée par l'état des surfaces : finesse et homogénéité du grain, ou au contraire ségrégation à la surface de certains constituants qui forment une barrière contre les agents agressifs.

Les additions de magnésium augmentent la résistance à la traction, même sans traitement thermique, ainsi que la dureté, tandis qu'elles diminuent la ductilité. Les additions de cuivre ont une influence du même genre, quoiqu'elles semblent agir moins sur la ductilité; elles impliquent un traitement thermique.

Alors que l'aluminium pur résiste fort bien à la corrosion, les alliages y sont généralement plus sensibles. Les additions de magnésium et de manganèse n'ont que peu d'influence à ce point de vue, tandis que l'incorporation de zinc, et surtout de cuivre, augmente fortement la susceptibilité à la corrosion. Le chrome, par contre, exerce une action inhibitrice.

(2) J.C. Bailey : Aluminium Alloys in Mining Equipment (Colliery Guardian, 10 mars 1949).

La corrosion des surfaces exposées à l'air et à l'eau pure, que nous appellerons « corrosion simple », est peu sensible, moins sensible que pour les aciers ordinaires.

Mais les alliages légers sont sujets, au contact d'autres métaux, tels le fer, le cuivre et le zinc, à la « corrosion électrolytique ». Ce phénomène se manifeste aussi, indirectement, sur les surfaces libres d'alliage au cuivre ou au zinc soumis à l'action d'eaux quelque peu acides. Elles se couvrent à la longue de dépôts microscopiques de cuivre ou de zinc précipité, dont chacun devient le siège d'une plaie de corrosion électrolytique. Le métal prend alors un aspect tavelé, pustuleux, très caractéristique.

Les structures constituées en tout ou en partie d'alliages légers doivent, dès l'origine, être protégées par l'une des méthodes suivantes :

1° Contre la « corrosion simple » :

Plaquage par de l'aluminium chimiquement pur, lors du laminage. Ce traitement ne peut généralement s'appliquer qu'aux tôles (dites « Alclad » en Angleterre et en Amérique). Plus souvent, un enduit au chromate de zinc, après traitement par un « etch primer », constitue une couche protectrice,

moins que les pièces d'alliage ne soient « plaquées » d'aluminium.

L'expérience déjà longue du matériel léger a démontré la valeur de ces méthodes de protection. Elle a, de plus, permis une sélection des alliages les plus appropriés aux exigences de la mine.

Au Canada, aux Etats-Unis, en Angleterre, alors que l'on avait surtout utilisé au début les types aluminium-magnésium-cuivre-manganèse, à cause de leurs caractéristiques mécaniques très voisines de celles de l'acier, on en est venu à des formules qui, malgré une résistance à la traction un peu moins élevée, ont une résilience équivalente et une meilleure résistance à la corrosion (par exemple Al - Mg - Cu - Cr).

En France, cependant, les alliages aluminium-magnésium, dits « Alumag », conservent la préférence surtout, semble-t-il, parce que sous forme laminée ou forgée, ils ne requièrent pas de traitement thermique pour atteindre les caractéristiques les plus courantes.

A titre exemplatif, nous avons rassemblé dans le tableau I les caractéristiques de quelques alliages actuellement utilisés dans la construction des cages légères.

TABLEAU I.

Constituants principaux : %	HS.10 WP anglais	HP.14 T anglais	17 S.	65 ST.	AG. 5 français	
			E.-U. & Canada		recuit	écroui
Cuivre	max. 0.15	3.5 à 5	4	0.15 - 0.4	—	—
Magnésium	0.4 - 1.5	0.4 - 1.2	0.2 - 0.8	0.8 - 1.2	5	5
Manganèse	max. 0.1	0.4 - 1.2	0.4 - 1	0.15	0.3-0.6	0.3-0.6
Silicium	0.75 - 1.3	0.7 max.	0.8	0.1 - 0.8	0.3	0.3
Zinc	—	—	0.1	0.1	—	—
Chrome	0.5 max.	—	0.15	0.35	—	—
Fer	0.6 max.	0.7 max.	0.7 max.	0.7 max.	0.2	0.2
Yield point kg/mm ²	23.3	21.7	28.2	28.2	13 - 15	18 - 30
Rupture id.	29.5	37	43.6	31.6	30 - 34	35 - 40
Allongement %	8	15	22	17	22 - 20	10 - 5
Dureté Brinell	?	60 - 80	108	60 - 90	65 - 75	90 - 110

que l'on recouvre d'une couche de bonne couleur ordinaire.

2° Contre la « corrosion électrolytique » :

La pose de joints isolants entre les pièces constituées de métaux différents est, bien qu'efficace, peu pratique. On recourt plutôt à un enduisage abondant au chromate de zinc avant assemblage, et à une peinture protectrice après montage, à

Dans les mines que nous avons visitées au Canada et aux Etats-Unis, c'est l'alliage 65 ST., avec traitement thermique, conforme aux spécifications américaines, qui donne les meilleurs résultats.

Trois photos, rassemblées à la figure 5, que nous devons à l'obligeance de la direction de la Wright Hargreaves Mine, à Kirkland Lake (Nord Ontario), montrent l'importance du choix de l'alliage et du mode de protection sur les effets de la cor-

rosion. Cette mine exploite des gisements aurifères jusqu'à 2 000 m de profondeur environ. Des panneaux témoins y ont été exposés à l'action alternée de l'air sec et de l'eau. L'eau du fond, légèrement acide (pH 6,9), est très dure et riche en sulfate de soude et en fer (3).

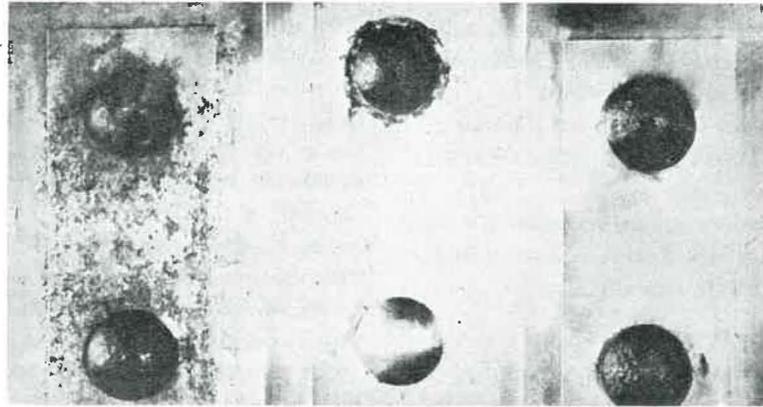


Fig. 5.

Sur le cliché de gauche, deux rivets d'acier assemblent à la tôle une barre de 26 ST., alliage titrant de 3,9 à 5 % de cuivre : la barre porte des plaies de corrosion active et généralisée, particulièrement profondes au contact des rivets.

Le cliché central montre une barre de 75 ST., sans plaquage, assemblée en haut par un rivet d'acier et en bas par un rivet d'alliage titrant 2 à 3 % de cuivre et 0,25 % de chrome. Un profond sillon de corrosion entoure le rivet d'acier, tandis que les plaies sont beaucoup plus rares et dispersées autour de l'autre rivet et sur la surface de la barre.

Enfin, sur le cliché de droite, une barre de 65 ST., dont la composition a été donnée plus haut, est fixée par deux rivets d'acier : aucune trace de corrosion n'est visible.

On accuse souvent les alliages d'aluminium d'être sujets à des manifestations de fatigue et d'instabilité, sous l'effet de vibrations ou de chocs répétés. Si de tels phénomènes ont pu se produire avec des compositions à caractéristiques mécaniques très poussées et des formules ultra légères, ils n'ont jamais été observés sur les cages et skips, construits en alliages de nuances moyennes et toujours largement calculés.

Enfin, il convient d'attirer l'attention sur une propriété désagréable de l'aluminium et de ses alliages : sous l'effet de chocs violents, ils peuvent donner naissance à des étincelles de friction plus

ou moins susceptibles d'enflammer une atmosphère grisouteuse.

Les clichés montrent l'aspect de trois témoins après deux années d'exposition : des barres de diverses compositions sont assemblées par rivets sur une tôle de 75 ST Alclad. Bien qu'elle contienne de 1,2 à 2 % de cuivre et 5 à 6 % de zinc, la tôle est à peine corrodée, grâce au plaquage d'aluminium.

ou moins susceptibles d'enflammer une atmosphère grisouteuse.

Le risque est extraordinairement faible pour l'aluminium pur. Il croît avec les teneurs en Mg et en Si, mais reste faible lorsqu'il n'y a pas plus de 4 ou 5 % de Mg. Il est très sérieux avec le métal Elektron, à plus de 90 % de magnésium.

Des expériences systématiques ont été poursuivies à ce sujet en Angleterre, au Safety in Mines Research Establishment, dès 1950, ainsi qu'en Allemagne. D'autres ont eu lieu à l'Institut National des Mines (4).

Il en résulte que l'inflammation requiert un concours de circonstances exceptionnel : choc violent avec friction, entre alliage léger et surface d'acier rouillée, teneur en méthane de 6,5 %, etc...

Il n'y a donc pas d'obstacle à l'emploi des formules d'alliages que nous avons retenues, pour la construction des cages et skips. Il peut y en avoir, par contre, à leur utilisation pour la construction de berlines si celles-ci sont appelées à circuler dans des chantiers grisouteux, où les risques de chocs et de présence de grisou ont une certaine réalité.

Le Service des Mines anglais interdit maintenant l'usage des alliages d'aluminium à front de taille, mais ne fait aucun obstacle à leur emploi pour le matériel roulant et pour l'équipement des puits.

Construction.

Le module d'élasticité des alliages légers est de l'ordre du tiers de celui de l'acier doux. Leur dé-

(3) Voir « Underground Corrosion Tests on Aluminium Alloys at Wright-Hargreaves Mine », par H.P. Godart et K. Winslow, Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, octobre 1950.

(4) J. Eripiat : « Rapport sur les travaux de l'Institut National des Mines » (Ann. des Mines, 1955, p. 114).

formation élastique, à égalité de sollicitation, est par conséquent trois fois plus grande environ.

Cette propriété est favorable à l'amortissement des chocs, mais elle nuit à la rigidité des constructions. Les pièces soumises au flambage, tels les montants de cages reçues sur taquets par leur cadre inférieur, devront donc présenter une section et un moment d'inertie supérieurs à ceux des pièces en acier, même si les autres caractéristiques de l'alliage employé sont identiques à celles de l'acier.

Ceci conduit, soit à conserver des montants d'acier sur les cages légères, avec un certain risque de corrosion électrolytique, soit, de préférence, à les construire en profilés spéciaux d'alliage léger, voire même en sections tubulaires « extrudées », qui s'obtiennent aisément.

Quant aux *déformations permanentes*, elles ne peuvent être éliminées par redressement à froid. Il faut remplacer la pièce déformée par une pièce de rechange, et la faire redresser par le fournisseur. Inconvénient réduit pour les cages, mais plus grave pour les berlines, sans qu'il constitue cependant un motif d'exclusion, surtout si le matériel roulant ne quitte pas les galeries principales.

L'*assemblage* des cages légères appelle quelques commentaires. En raison de ses propriétés caloriques et mécaniques, l'aluminium (ou l'alliage) ne convient guère pour la pose courante de rivets de diamètre supérieur à un demi-pouce (bien que l'on puisse maintenant doubler cette limite moyennant un outillage spécial). Il faut donc souvent poser des rivets en acier, en prenant les précautions déjà mentionnées contre la corrosion électrochimique.

D'autre part, comme les nuances « moyennes » d'alliage sont plus exposées au matage que l'acier, il convient que le perçage et l'ajustage des pièces soient plus précis et plus soignés que dans la construction banale. « L'ouvrage de fosse » doit être, ici, rigoureusement proscrit, d'autant plus que tout jeu aux assemblages favorise la corrosion locale.

Dans les skips à minerais, on protège les fonds de l'abrasion par une garniture en bois ou en tôle d'acier.

L'*entretien* en service ne pose aucun problème spécial. Il peut se limiter à un bon nettoyage à la benzine, une fois par an, suivi d'un renouvellement de la peinture (aux congés payés, par exemple). Nous avons vu des cages, en Ontario, qui n'étaient repeintes que tous les 3 ou 4 ans, et ne paraissaient pas en souffrir.

V. QUELQUES CARACTERISTIQUES D'INSTALLATIONS EN SERVICE A L'ETRANGER

Après avoir visité de nombreuses installations en Angleterre et au Canada, nous avons pu nous ren-

dre également, à Orillia, dans l'Ontario, aux Ateliers E. Long, dont l'activité quasi exclusive est la construction des cages et skips légers pour l'Amérique du Nord.

Il serait fastidieux de faire ici des descriptions détaillées.

Les cages, à 2 ou 3 étages, ont des charges utiles allant jusqu'à 6.900 kg. Les étages sont souvent très hauts, de telle sorte que les paliers raidissent peu l'ensemble. Des dimensions courantes sont : hauteur 7 à 9 m — largeur 1,20 m à 1,30 m — longueur 3 à 5 m. Le guidage est fait par les petits côtés en Angleterre, par le milieu des longs côtés au Canada (où l'on emploie de plus en plus des rouleaux, au lieu de main courantes, avec d'excellents résultats).

Les cages sont prises à taquets par leur contour inférieur. Les machines d'extraction sont à tambour cylindrique et assurent des vitesses moyennes de translation de 8 à 15 m/seconde à des profondeurs de 700 à 1 500 m. La plupart des cages sont construites entièrement en alliage léger, sauf les oreilles de suspension au câble et les garnitures de protection du contour aux points de pose des taquets. Les rails sont en acier ou en alliage léger.

Les skips ont des capacités de 3 à 10 tonnes. On a même mis en service en 1953, à Mosley Common (Angleterre), des skips de 12 tonnes.

Les puits sont généralement humides et les eaux légèrement acides et dures dans les mines de l'Ontario, avec pH de 6.5 à 7.0. A la mine de Noranda, dans la province de Québec, l'eau est tellement acide que le châssis à molettes du puits de retour est véritablement rongé par la condensation et que la galerie en béton du ventilateur a dû être doublée de chêne et d'acier inoxydable.

Dans ces conditions assez dures, les cages et skips légers résistent beaucoup mieux que ceux en acier, malgré une extraction intensive.

Nous ne croyons pas utile de rappeler les expériences d'allégement du matériel d'extraction tentées et réussies par les Charbonnages de France, car elles se situent dans des cadres fort voisins de ceux de nos mines et sont, de plus, connues de beaucoup d'exploitants belges.

VI. POSSIBILITES D'APPROFONDISSEMENT DE L'ETAGE D'EXTRACTION PAR L'EMPLOI DE CAGES LEGERES

En nous basant sur des données pratiques, nous avons calculé, dans deux cas particuliers, les possibilités d'approfondissement résultant de l'allégement des *cages seules*. Les données et résultats sont rassemblés dans le tableau II. Ils se passent de commentaires.

ni coûteuse. Elle implique étude et réflexion, mais comporte certainement moins de risques et d'imprévus que n'en comportait naguère, par exemple,

l'introduction du foudroyage, des tirs d'ébranlement et des ventilateurs souterrains, que les Ingénieurs belges ont acceptée sans hésitation.

DEUXIEME PARTIE

Un an d'utilisation de cages en alliage léger au siège n° 2 du Charbonnage du Rieu du Cœur et de la Boule Réunis à Quaregnon

par J. SAUCEZ,

Ingénieur A.I.Ms.

Les exploitations du Charbonnage du Rieu du Cœur et de la Boule Réunis se situent au niveau de 1 350 mètres. Lorsque le siège fut modernisé vers 1930, la profondeur des travaux ne dépassait pas 830 m et l'on équipa alors le puits d'extraction, dont le diamètre avait été porté à 6 mètres, de deux machines à bobines actionnant respectivement des cages à quatre et six étages de deux berlines en tandem. Les deux machines ont approximativement la même puissance, soit 2 000 ch, car les vitesses de translation ont été appropriées aux charges. Cet équipement fut maintenu après approfondissement du puits jusqu'à 1 350 m.

C'est ainsi qu'actuellement le puits n° 2 du Rieu du Cœur, qui est le plus profond d'Europe en ce qui concerne les mines de charbon, est pourvu de deux appareils d'extraction à câbles plats, l'un avec des cages de huit berlines de 780 litres, l'autre avec des cages de 12 berlines. Le guidonnage est frontal comme l'indique la figure 1. La recette du jour est équipée de taquets Davies, tandis que les manœuvres à l'accrochage du fond sont réalisées sur des balances hydrauliques. Les cages sont donc soumises à la fois à la traction et au flambage avec chocs.

Les données suivantes font saisir les difficultés de l'extraction à grande profondeur :

pois d'une cage en acier à 4 étages sans suspension : vide : 6 100 kg;

chargée de 8 berlines de charbon : 15 300 kg.

pois d'une cage en acier à 6 étages sans suspension : vide : 8.500 kg;

chargée de 12 berlines de charbon : 22.300 kg.

pois métrique d'un câble : 17 kg/m.

pois total d'un câble de 1 350 m de longueur : 23 tonnes.

L'extraction a été réalisée dans ces conditions depuis l'année 1945, moyennant une dérogation au règlement, accordant une réduction des coefficients de sécurité et justifiée, comme c'est l'usage pour les puits profonds, par l'élasticité des câbles qui produit un amortissement des efforts dynamiques auxquels ils sont soumis.

Malgré les fortes charges et les vitesses de translation relativement élevées — de l'ordre de 14 à 18 m/sec —, la capacité d'extraction ne dépasse guère 350 berlines par heure eu égard à la durée des cordées.

A côté de ce handicap majeur dont l'étude sort du cadre de la présente note, il a été constaté que les sollicitations auxquelles les câbles étaient soumis occasionnaient leur mise hors service prématurée, ainsi qu'un entretien pénible et onéreux, dû principalement au cisaillement des fils de couture.

Avec les cages en acier, les frais annuels d'entretien des quatre câbles en service s'élèvent à 375.000 francs environ, et la durée de vie d'un câble n'excède pas 22 mois. D'autre part, toujours avec les cages en acier, le respect des coefficients de sécurité imposés fait limiter à 8 berlines de

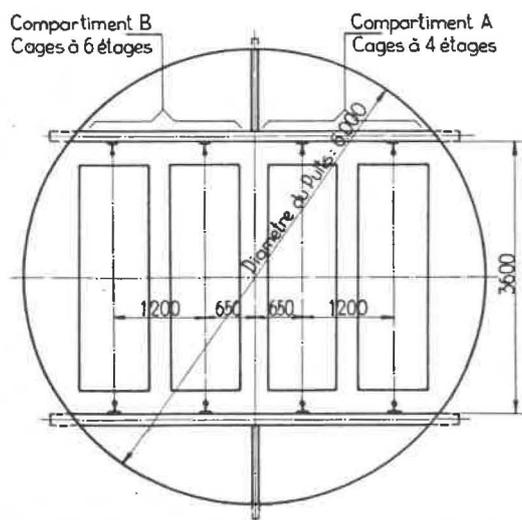


Fig. 1.

pierres seulement la charge des cages prévues pour 12 berlines.

Pour pallier ces inconvénients et améliorer la sécurité, les cages en acier ont été remplacées par des cages légères, construites en alliage d'aluminium plutôt qu'en acier spécial de façon à obtenir la réduction maximum de poids.

Le siège n° 2 du Rieu du Cœur constitue un banc d'essai idéal pour ce genre de matériel en raison des dimensions des cages et des sollicitations auxquelles elles sont soumises aux recettes. C'est pourquoi l'Institut de Recherches Economiques de la Province de Hainaut, sur l'avis de la « Commission du Sous-Sol Borain », intéressé par les problèmes de l'exploitation à grande profondeur, a voulu participer financièrement à l'expérience en accordant un subside à la Société. Monsieur le Professeur Brison a bien voulu en outre apporter sa collaboration pour l'étude et la mise au point du matériel léger.

La figure 2 représente une cage à six étages. Les cages en alliage d'aluminium, comme les anciennes en acier, sont construites suivant ce schéma, qui a fait ses preuves et est favorable au point de vue de la légèreté. Une cage à six étages est constituée de deux tronçons indiqués sur la figure, dont l'assemblage peut seulement être réalisé dans le puits, afin de satisfaire aux conditions d'encombrement aux recettes de puits à la surface. La partie supérieure, qui comporte quatre étages, a les mêmes dimensions que les cages à quatre étages destinées au second compartiment du puits.

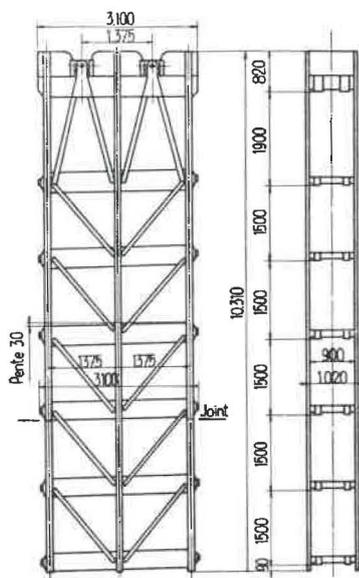


Fig. 2.

La construction des cages en alliage léger devait répondre à un triple but. Il fallait obtenir le plus grand allègement possible, tout en adoptant pour

les pièces soumises à effort un coefficient de sécurité de 10, qui n'était pas toujours réalisé dans la construction en acier. Ensuite, on se proposait de profiter de l'occasion pour essayer différents modes de construction. Enfin, il était nécessaire d'envisager très sérieusement la lutte contre la corrosion, ennemie n° 1 des alliages d'aluminium.

Le constructeur choisi fut la S.A. des Trains de Roues du Centre, qui jouit d'une certaine expérience en la matière. Le Centre de Recherches de l'Aluminium Français fut chargé d'une mission consultative dans le domaine de l'assemblage et de la protection, tandis que l'Association des Industriels de Belgique assurait la réception des matières, la vérification de la sécurité et la surveillance en construction.

L'alliage adopté comme matériau de base porte en France l'appellation AG. 5 et sa composition chimique est la suivante :

Si	0,20 %
Mn	0,65 %
Cu	0,10 %
Fe	0,25 %
Zn	0,09 %
Mg	5,14 %
Al	93,57 %

100,00 %

Toutes les pièces sont faites en AG. 5, sauf les montants des cages à six étages, les attaches de cages, certaines mains courantes et accessoires, qui sont restés en acier, tandis que pour les rails on a choisi un alliage léger dénommé AZ. 6 GU, peu ductile mais de grande dureté.

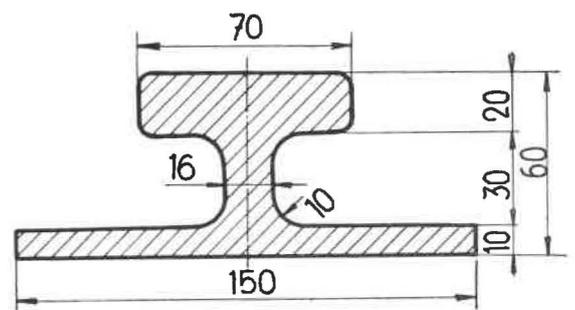


Fig. 3.

Les six montants des cages à 4 étages ont été réalisés en AG. 5 suivant le profil de la figure 3, choisi pour sa résistance au flambage et son faible encombrement. Compte non tenu des chocs, on obtient pour les montants extrêmes, supposés seuls, une sécurité à la flexion de 16, au flambage de 19 et à la traction de 25, malgré le faible poids du profil, inférieur à 9 kg/m. Les montants des cages à 6 étages sont constitués de fers A. 42 (fig. 4) afin

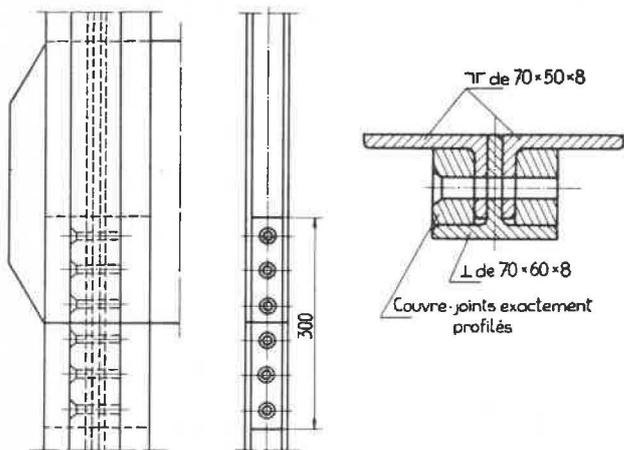


Fig. 4.

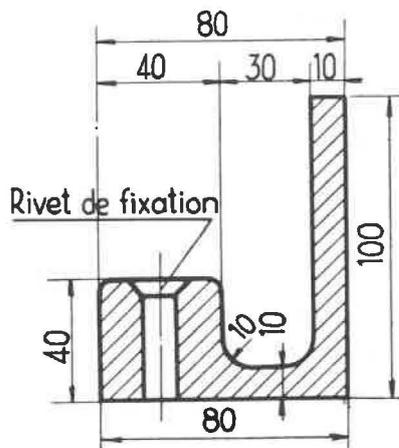


Fig. 6.

de permettre l'assemblage des tronçons par boulonnage, qui aurait été difficilement réalisable avec le profil AG. 5 susmentionné. D'ailleurs, on a renoncé ici à l'emploi d'aluminium pour les montants dans le but de procéder à des comparaisons sur le comportement en service de deux constructions différentes.

Les cadres de paliers sont faits d'un plat de 400×10 en AG. 5, renforcé par un L de $100 \times 63 \times 8$ en même matière. La sollicitation maximum d'un cadre a lieu quand la cage repose sur les taquets par ce cadre, dont le porte-à-faux aux extrémités est de 0,20 m. Dans ces conditions, le coefficient de sécurité reste supérieur à 12.

La figure 5 représente un palier complet.

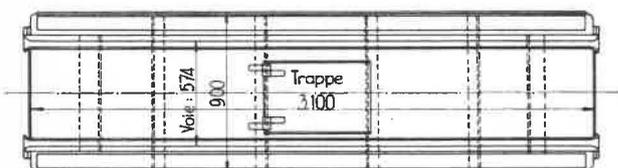


Fig. 5.

Pour le reste, seuls les guides d'angle, les arrêts de wagonnets, les portes, les attaches aux chaînes de suspension, les mains-courantes supérieures et inférieures des cages à six étages sont restés en acier, tandis que les autres mains-courantes, les cadres de parapierres, les bretelles de suspension, les diagonales et les tôles de parois ont été fabriqués en AG. 5.

Le profil de la figure 6 est celui des rails en alliage AZ. 6. GU qui contient plus de 6 % de zinc, 2 % de magnésium et 91 % d'aluminium. Comparés aux rails Jamart qu'ils remplacent, ces rails spéciaux procurent un gain de poids de 15,6 kg/m, soit 580 kg pour une cage à 6 étages, ce qui

n'est pas négligeable. Leur emploi, qui ne présente aucune sujétion, paraît devoir être envisagé dans toutes les fosses où le poids des cages est un handicap pour l'extraction, même lorsque l'utilisation massive d'alliages légers n'est pas nécessaire. Même remarque en ce qui concerne les tôles de parois qui ont donné lieu à un allègement de 325 kg par cage à 6 étages.

Le montage des cages en alliage léger requiert une technique particulière en vue de prévenir les corrosions électrolytiques. Les pièces en acier en contact avec du métal léger sont schoopées au zinc; on utilise des boulons cadmiés ou galvanisés; pour river, il faut enduire les surfaces en contact avec une matière bitumineuse appropriée et utiliser des rondelles isolantes en acier galvanisé; toutes les pièces sont recouvertes d'une couche de peinture primaire au chromate de zinc, puis d'une couche de finition.

Le tableau I établit la comparaison des poids des cages légères et de celles en acier de même capacité qu'elles ont remplacées.

TABLEAU I.

	Poids sans suspension		Allègement
	Construction en acier	Construction en alliage léger	
Cage à 4 étages	6.100	3.580	41 %
Cage à 6 étages	8.500	5.720	33 %

Le gain de poids est donc énorme. Le prix est d'autre part à peu près trois fois plus élevé que pour la construction courante en acier. On trouvera quelques détails au tableau II.

TABLEAU II.

	Coûts détaillés des cages			
	en alliage léger		en acier	
	à 4 étages	à 6 étages	à 4 étages	à 6 étages
	Sans les accessoires	260.000	320.000	
Accessoires	20.000	30.000		
Réception par A.I.B.	6.250	6.250		
Total	286.250	356.250	91.500	127.500

Mais la comparaison des prix n'est guère équitable. Les coûts des cages légères sont en effet grevés de frais anormaux, dus à leur caractère de prototypes ou consentis par surcroît de sécurité (réception par l'A.I.B. par exemple). En outre, on a voulu obtenir pour les nouvelles cages, un coefficient de sécurité supérieur à celui des anciennes.

Les cages légères étant en service depuis dix mois environ, il est possible de porter un premier jugement sur leur comportement.

Il semble en premier lieu qu'elles soient plus résistantes que celles qu'elles remplacent. Elles manifestent des déformations plus faibles et subissent moins d'avaries.

A la suite d'un incident, une cage à quatre étages a heurté violemment la balance hydraulique à l'accrochage du fond. Les montants en alliage léger ont été pliés et deux contours ont été cassés, mais

nous estimons que les dégradations résultant d'un accident semblable auraient été plus importantes pour des cages en acier.

Nous avons également constaté une meilleure tenue des appareils de puits : taquets, supports de taquets, tringles de commande, etc... en raison de la réduction des efforts auxquels ils sont soumis.

Les câbles sont aussi moins sollicités. Depuis dix mois on n'y a effectué que onze réparations alors qu'auparavant celles-ci étaient bimestrielles. Il est vrai que la mise en service d'un enrouleur de câble a contribué également à cette amélioration.

L'économie sur le courant est négligeable.

Au sujet de l'équilibrage de la machine d'extraction, nous avons constaté que, malgré la profondeur du puits et le poids des câbles, l'allègement des cages provoquait une majoration sensible du couple de démarrage et une minime réduction des accélérations.