

NOTE

SUR UN NOUVEAU SYSTÈME D'ÉQUILIBRE

DES

MACHINES D'EXTRACTIONS A TAMBOURS CYLINDRIQUES

soustrayant les câbles d'extraction à l'action de leur propre poids

PAR

ADOLPHE DEMEURE

Ingénieur principal des charbonnages du Bois-du-Luc et d'Havré.

[62267]

Les études entreprises en vue de la création d'un nouveau siège destiné à assurer une forte production à grande profondeur ont décidé M. Degueldre, directeur général de la Société civile du Bois-du-Luc, et moi à entreprendre, il y a quelque temps, un voyage dans le bassin rhéno-west-phalien afin de voir les innovations appliquées dans cette contrée à l'extraction. Nous avons notamment remarqué un système d'équilibre tout nouveau dû à M. Arthur Lindenberg, directeur de la mine Monopol à Camen près de Dortmund. Nous avons cru qu'une description sommaire de ce système pourrait intéresser les lecteurs des *Annales des mines de Belgique*.

Le problème de l'équilibre a reçu sa première solution

en Belgique où les câbles plats en aloès enroulés sur eux-mêmes ont été et sont encore plus employés que les câbles métalliques plats ou ronds. Cette solution est applicable à d'assez grandes profondeurs surtout quand la charge à extraire n'est pas considérable. Mais deux éléments se combattent qui limitent son emploi, d'une part la réduction qu'il faut faire subir au rayon initial avec la profondeur et avec la charge, et d'autre part l'augmentation d'épaisseur du câble avec cette même profondeur, exigeant, pour un enroulement qui ne soit pas fatigant, un rayon de plus en plus grand.

En Allemagne, où l'emploi des câbles plats végétaux ou métalliques est presque inconnu pour l'extraction, on a dû, dès que l'on a atteint une certaine profondeur, rechercher d'autres modes d'équilibre. Divers systèmes y étaient appliqués depuis longtemps tels que le tambour tronconique, le tambour cylindrique avec câble inférieur d'équilibre et le système Koepe. Nous n'insisterons pas sur les avantages et les inconvénients de ces divers systèmes qui ont fait l'objet de multiples descriptions dans les traités d'exploitation des mines et dans les revues techniques ⁽¹⁾. Qu'il nous suffise de dire que dans tous ces systèmes, si le moteur est équilibré, le câble ne l'est pas, c'est-à-dire qu'il doit supporter son propre poids outre la cage pleine au fond. Même, les deux derniers, de toute nécessité, exigent l'emploi d'un câble de section uniforme; il est vrai de dire que les câbles ronds décroissants ne se fabriquent pas encore couramment et que, si l'on parvenait à les faire convenablement, sans reproche au point de vue de la résistance, ils auraient encore, au point de vue du fonctionnement, à supporter la critique suivante qui est très sérieuse : les

⁽¹⁾ Voir notamment : *Emploi des câbles continus pour l'extraction dans les mines*, par Victor Watteyne et Adolphe Demeure, ANNALES DES TRAVAUX PUBLICS, t. XLVIII.

gorges des poulies ont une section uniforme, les câbles pas, d'où une usure très rapide de ceux-ci.

Le reproche de ne pas équilibrer le câble lui-même peut s'adresser également à un système tout nouveau et très ingénieux qui est décrit dans le *Génie civil*, n° 1, t. XXIX, 2 mai 1896, par M. André Desprès. L'extraction se fait par deux câbles enroulés en sens inverse sur un tambour cylindrique. L'équilibre est fait par un câble continu enroulé sur le même tambour et descendant soit dans le puits d'extraction, soit dans un puits voisin jusqu'à mi-profondeur. Une chaîne, de longueur égale au quart de la hauteur du puits et d'un poids par mètre courant quadruple du poids du câble d'extraction est attachée par une de ses extrémités au câble continu au niveau du câble vide et par l'autre à un point fixe. Le câble continu reçoit son mouvement du tambour et le communique à l'extrémité de la chaîne. L'inspection du croquis ci-dessous (fig. 1) montre que l'équilibre est toujours parfait.

L'inconvénient que nous avons signalé a une importance considérable à grande profondeur et il limite celle-ci. Amené dernièrement à poser à un fabricant de câbles d'extraction, la maison Felten et Guillaume de Mülheim-sur-Rhin, dont nous nous plaisons à louer ici la compétence et l'obligeance, le problème de l'extraction d'une charge de 11 tonnes, charge utile et poids mort compris, à 1135 mètres de profondeur, nous reçûmes la solution suivante :

Câble rond à *torons plats* (système breveté) en fil d'acier fondu de 180 kilos de résistance par millimètre carré composé de 140 fils et d'une âme en chanvre.

Diamètre du câble	52 ^{mm} .
Épaisseur des fils ronds de la couche extérieure	3 ^{mm} .1
Résistance du câble à la rupture . .	182,000 kilos
Poids approximatif par mètre courant.	10 ^k .5

Charge à lever	11,000 kilos
1135 mètres de câble à 10 1/2	11,919 "
Total	22,919 kilos.

La résistance du câble étant de 182,000 kilos, le coefficient de sécurité serait de 7.95.

Ainsi donc, malgré l'emploi d'un acier à 180 kilos de

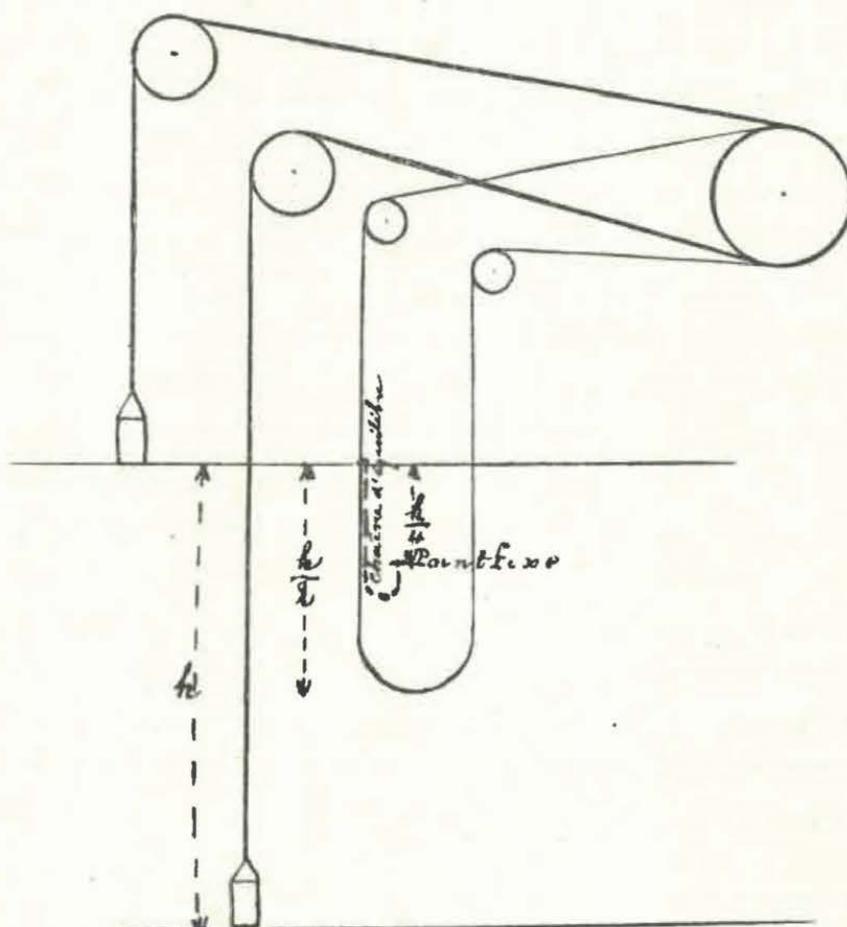


Fig. 1.

résistance, on arrive à un poids de câble, à supporter, supérieur au poids de la charge à lever. Avec de l'acier à 130 kilos de résistance on atteindrait des diamètres de câble qui ne seraient plus d'un emploi pratique, on réduirait encore le coefficient de sécurité.

Avec des câbles plats en aloès, le poids du câble l'emporterait encore davantage sur la charge à lever à de pareilles profondeurs. Ainsi, au puits Sainte-Henriette de la Société des Produits à Flénu, les câbles ont 1350 mètres de longueur; ils sont destinés à extraire, de la profondeur de 1200 mètres une charge de 6500 kilos (six wagonnets), ils sont fabriqués en dix aussières; ils ont une largeur de 0^m.40 et une épaisseur de 0^m.05 à l'élevage, une largeur de 0^m.225 et une épaisseur de 0^m.029 à la patte. Le poids par mètre courant est en moyenne de 11 kilos et la partie de câble suspendue dans le puits pèse 11,500 kilos, soit près du double de la charge à lever. Il s'ensuit que le câble supporte à l'élevage un effort de 18,000 kilos, soit 90 kilos par centimètre carré de section; à la patte, l'effort est de 100 kilos par centimètre carré de section.

Au puits n° 6 du charbonnage de Sars-Longchamps à La Louvière existent deux câbles de 860 mètres, destinés à extraire de la profondeur de 700 mètres une charge de 10,500 kilos (huit wagonnets). Chaque câble, en aloès de Manille, pèse 13 kilos par mètre courant; il est composé de dix aussières, présente à l'élevage une largeur de 0^m.40 et une épaisseur de 0^m.05, et à la patte une largeur de 0^m.27 et une épaisseur de 0^m.035; le poids de la partie du câble suspendue dans le puits est de 8000 kilos. Le câble supporte à l'élevage 18.500 kilos, soit 92 kilos par centimètre carré et à la patte 106 kilos par centimètre carré ⁽¹⁾.

(1) Nous devons ces renseignements à l'obligeance de M. André Harmegnien, fabricant de câbles à Dour.

Avec des câbles plats, métalliques également, le poids du câble à lever dépasse le poids de la charge à grande profondeur. Ainsi, M. Fernand Vertongen de la maison Vertongen-Goens de Termonde a bien voulu nous calculer un câble plat métallique en fil d'acier pour une charge de 10.000 kilos à 1160 mètres de profondeur. Il a proposé un câble en huit aussières de quatre torons, fil de 2 millimètres de diamètre, acier à 140 kilos par millimètre carré, pesant 10^k.450 par mètre en moyenne et présentant des coefficients de sécurité de 7,75 et 8. Son poids total est donc de 12.122 kilos et dépasse de plus de 2000 kilos la charge à lever. A Marchiennes les câbles plats à section décroissante en acier fondu au creuset ont 1300 mètres de longueur et extraient d'une profondeur de 1050 mètres une charge de 12,500 kilos (douze wagonnets). Ils se composent de huit aussières de quatre torons en trois sections de 12, 11 et 10 fils ; le poids par mètre est de 12^k.5, ce qui fait comme poids de câble suspendu dans le puits, 13,000 kilos environ, soit 500 kilos de plus que la charge à lever ; ses largeurs sont 0^m.195 et 0^m.17 ; ses épaisseurs 25 à 21 millimètres ; ses coefficients de sécurité 1/7 à l'élevage et 1/10 à la patte.

On le voit, le problème de l'extraction à plus grande profondeur ne peut recevoir de solution que si l'on peut soustraire le câble à l'action de son propre poids.

C'est ce que M. Arthur Lindenberg, ingénieur à Dortmund, directeur de la mine Monopol à Camen, a réalisé au nouveau siège d'extraction *Grimberg* de cette mine. Nous avons visité ce siège dans le courant du mois de juin 1896.

Avant de décrire cette invention, disons quelques mots d'un autre système d'équilibre présentant avec elle beaucoup d'analogie mais n'équilibrant que la machine comme tous les systèmes rappelés précédemment, non le câble, et que M. Lindenberg a appliqué au siège Grillo de la mine Monopol que nous avons également visité.

La mine Monopol est exploitée par deux sièges d'extraction : Grillo et Grimberg.

Le siège Grillo a 476 mètres de profondeur. La machine d'extraction, à deux cylindres horizontaux, actionne un tambour double de 8 mètres de diamètre et de 4 mètres de largeur. Les cages d'extraction reçoivent huit chariots placés côte à côte dans quatre étages superposés. L'extraction journalière est de 900 à 1000 tonnes de charbon. Les câbles d'extraction sont ronds, en acier, ont 45 millimètres de diamètre et s'enroulent sur le tambour cylindrique de la façon habituelle, c'est-à-dire que l'un est supérieur et l'autre inférieur. Le même tambour, entre les deux câbles d'extraction, enroule et déroule deux câbles plus petits ronds, en acier, de 19 millimètres, l'un supérieur, l'autre inférieur également, dont les extrémités dans le puits, l'une au jour, l'autre au fond, sont reliées par un câble plat métallique qui circule le long des parois du puits dans l'entrecages, qui passe sous l'accrochage au fond entre des pièces de bois et qui présente à ses deux extrémités un guideur voyageant verticalement le long de guides en bois dans le mouvement de va-et-vient que lui imprime le tambour par l'intermédiaire des petits câbles.

Les figures 2 et 3 présentent un schéma de cette disposition.

En donnant au câble plat un poids égal à la somme de ceux du gros câble et du petit câble, on voit que le poids des câbles est équilibré sur le tambour d'extraction. En effet, quel que soit le sens de rotation de celui-ci, il est sollicité inférieurement et supérieurement par un poids de câble égal de part et d'autre. Ainsi, quand la cage suspendue au câble inférieur part du fond, ce câble s'enroule ; tout son poids et celui du petit câble inférieur dont l'extrémité est au fond du puits s'opposent à ce mouvement tandis que de l'autre côté le poids du câble d'équilibre sur toute

la hauteur du puits agit par l'intermédiaire du petit câble supérieur dans le sens de la rotation du tambour. De même, quand la cage suspendue au câble supérieur part du fond,

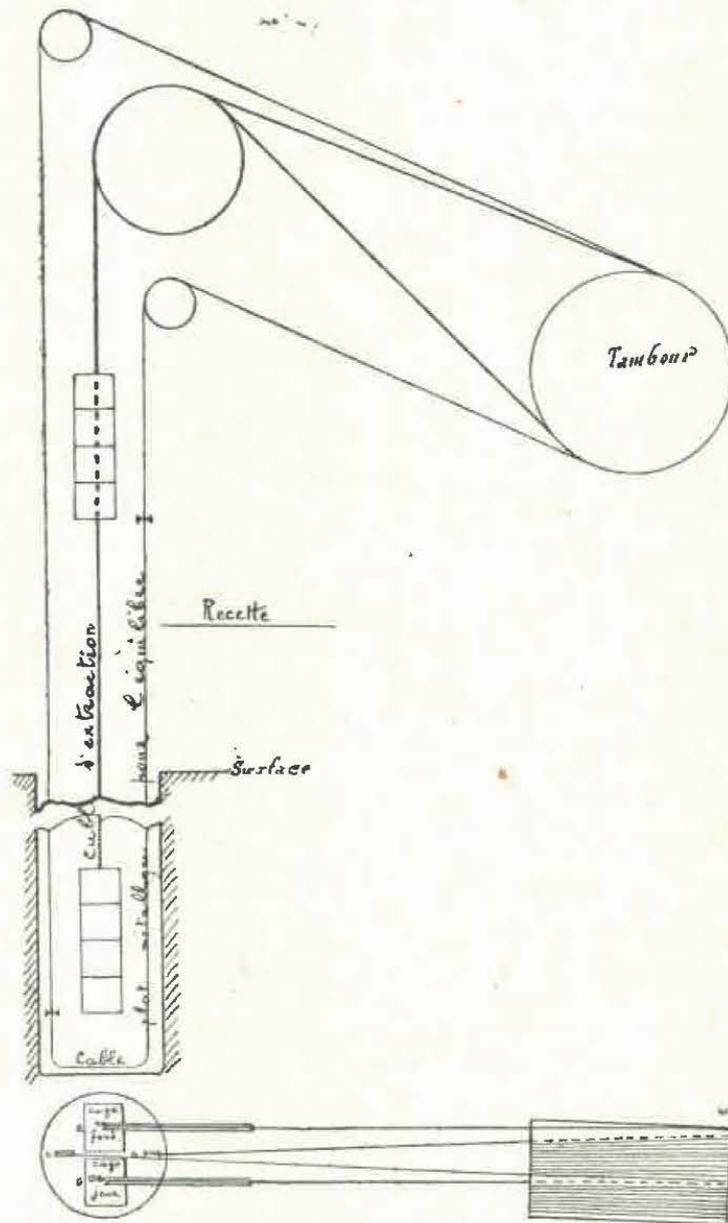


Fig. 2 et 3.

ce câble s'enroule; tout son poids et celui du petit câble supérieur dont l'extrémité est arrivée au fond pendant la

cordée précédente s'opposent à ce mouvement tandis que de l'autre côté le poids du câble d'équilibre, sur toute la hauteur du puits, agit par l'intermédiaire du petit câble inférieur dans le sens de rotation du tambour. Il en résulte que la machine n'a d'autre travail à faire que celui qui correspond à l'extraction au jour de la charge utile ; l'équilibre est donc parfait.

Ce dispositif, appliqué à une installation préexistante, a exigé le placement, au haut du châssis à molettes et à des niveaux différents, de deux petites poulies pour les petits câbles et, le long du puits, aux extrémités du diamètre normal à l'axe du tambour d'extraction, de quatre guides verticaux en bois servant deux à deux à diriger les guides placés à l'attache du câble plat d'équilibre avec les deux petits câbles. Il donne toute satisfaction ; le câble plat d'équilibre fonctionne bien, ballotte peu ; la vitesse de translation est de 10 mètres par seconde. Le câble d'équilibre fonctionne actuellement depuis trois ans et se trouve encore dans de bonnes conditions. La marche de la machine est extrêmement régulière, son travail étant constant pendant toute l'ascension d'une cage. Le machiniste a un service très facile, car il lui suffit de manœuvrer le levier de changement de marche, puis le levier du modérateur pour la mise en marche et de fermer le modérateur pour l'arrêt. La machine subit une légère accélération pendant l'ascension de la cage à cause de l'inertie des masses en mouvement, mais il suffit au machiniste de fermer son modérateur prématurément pour combattre cette accélération. Les masses en mouvement sont plus considérables parce qu'il y a en plus que les câbles d'extraction proprement dits deux petits câbles et un câble d'équilibre ayant chacun une longueur égale à la hauteur du puits et agissant tous sur le tambour, donc sur la machine.

Ce dispositif serait, paraît-il, appliqué également au puits Hardenberg que nous n'avons pas visité.

Ces préliminaires étant posés, décrivons le système d'équilibre des câbles et par conséquent de la machine d'extraction que M. Arthur Lindenberg a inventé et appliqué d'une façon très heureuse au puits Grimberg de la mine Monopol.

Tandis que dans l'installation du puits Grillo, l'équilibre se fait sur le tambour même, à Grimberg l'équilibre se fait sur la cage même et le câble est déchargé de son propre poids. Les petits câbles, au lieu de partir du tambour, partent des deux cages, passent sur des poulies établies au haut du châssis à molettes et vont s'attacher aux deux extrémités du câble plat d'équilibre qui, comme dans le système précédent, circule le long des parois du puits, guidé de la même façon ; seulement ce câble doit présenter un poids égal à celui du câble d'extraction plus deux fois le petit câble ; il est facile de s'en convaincre à l'inspection des figures 4 et 5 qui présentent un schéma de l'installation du puits Grimberg.

Ce schéma représente deux câbles d'extraction, le câble supérieur $AB'B''B$ dont la cage est supposée au fond et le câble inférieur $CB''D$ dont la cage est supposée au jour, puis deux petits câbles l'un partant de la cage inférieure à $ab'b''b$ pour aller s'attacher en b au brin supérieur du câble d'équilibre, l'autre $cd''d'd$ allant s'attacher en d au brin inférieur du câble d'équilibre. Si, dans les conditions du dessin, on veut mettre la machine en mouvement pour tirer au jour la cage du fond et envoyer au fond la cage du jour on a, pour empêcher le mouvement d'ascension de la cage inférieure, le poids du câble d'extraction AB' , pour empêcher le mouvement de descente de la cage supérieure le poids du petit câble $d'd$; et l'on voit immédiatement que le poids de ce petit câble ne pourra jamais dépasser le poids de la cage vide ; le câble d'équilibre devra donc égaler ces deux câbles

plus le petit câble ab' par l'intermédiaire duquel il vient agir sur le câble AB' . Il devra donc avoir un poids égal au câble d'extraction AB' plus les deux petits câbles ab' et $c'd$;

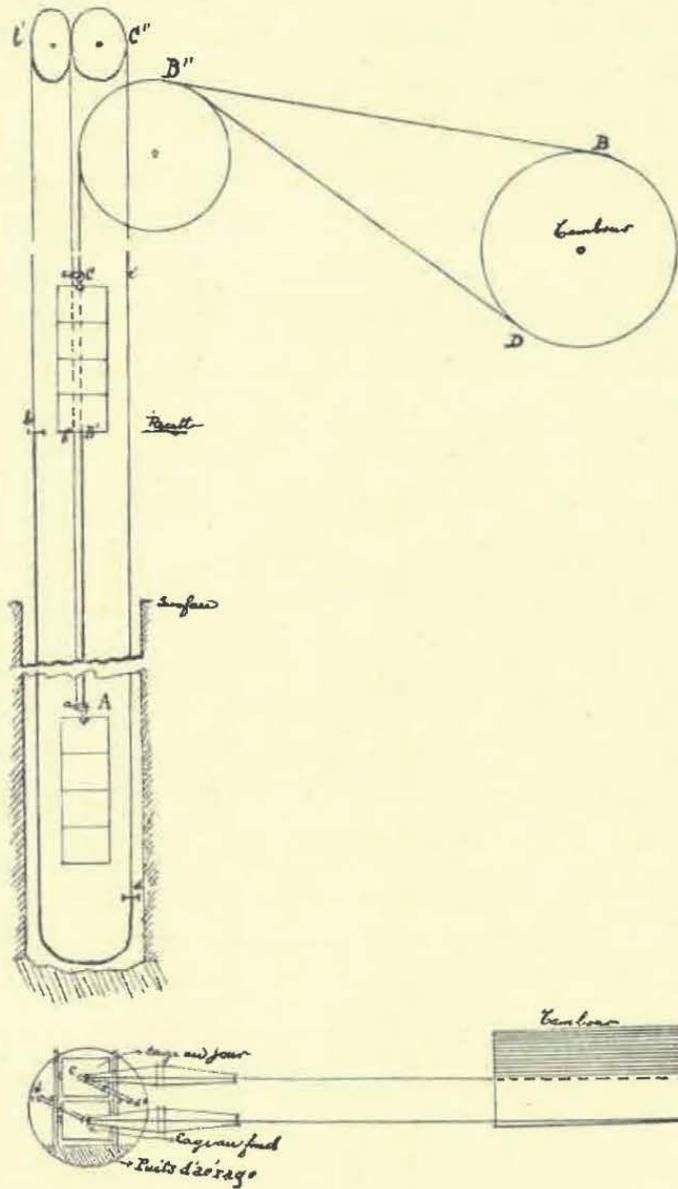


Fig. 4 et 5.

de cette façon, l'effet négatif du câble $d'd$ s'opposant à la descente de la cage est compensé, car le câble d'équilibre $b'd$, après avoir compensé le câble AB' et le câble ab' , a

encore un excédent de poids égal à $d'd$ qui agit sur la machine par l'intermédiaire de la cage montante et qui allège celle-ci d'autant. On peut donc calculer le câble d'extraction pour supporter le poids de la cage chargée diminué du poids d'un petit câble.

A cause de cette action du câble d'équilibre sur la cage, l'attache du câble d'extraction et du câble d'équilibre à la cage se fait par l'intermédiaire d'une pièce spéciale fixée à la cage par boulon et présentant dans le dessus deux œillets pour chacun des deux câbles distants de l'axe de la cage dans le rapport inverse de l'action des deux câbles sur la cage.

Que l'on se figure maintenant par la pensée les deux cages en mouvement dans le puits, et l'on verra que toujours les câbles sont parfaitement équilibrés, non seulement la machine est équilibrée, mais les câbles n'ont à supporter que le poids de la cage diminué du poids d'un petit câble, quel que soit le point de ces câbles que l'on considère, à la patte, à molettes ou à l'élevage.

Les principes du système étant posés, décrivons sommairement le siège Grimberg.

Ce siège est de création toute récente puisque les installations de la surface ne sont pas encore complètement terminées; la machine d'extraction, le châssis à molettes et le puits ont été étudiés pour appliquer le dernier système de M. Lindenberg. Le puits est enfoncé jusque 775 mètres et a traversé 453 mètres de morts-terrains secs sans difficulté; il extrait à la profondeur de 770 mètres à l'aide de cages à huit chariots placés côte à côte dans quatre étages superposés. Chaque chariot contient 500 kilos, de sorte que la charge utile extraite à chaque cordée est de quatre tonnes. La recette au jour est établie à 7 mètres au-dessus du sol et l'axe des molettes est à 24 mètres au-dessus de la recette. Cet axe est distant, horizontalement, de l'axe des tambours,

de 50 mètres. Le diamètre du puits est de 5 mètres; il présente un compartiment de retour d'air; il est muni d'un guidonnage en bois situé au milieu des côtés d'introduction des chariots, et comme la distance entre ceux-ci est moindre que la largeur des pièces du guidonnage, celui-ci est interrompu à l'accrochage unique et à la recette unique, et un méplat en fer remplace à cet endroit, comme liaison, les guides en bois. La vitesse le long du puits est très grande, comme d'ailleurs partout en Allemagne; elle dépasse 10 mètres en moyenne. La machine d'extraction est à deux cylindres horizontaux Compound; elle reçoit la vapeur à une pression de 7 à 8 atmosphères (le timbre des chaudières est de 10). Elle a des cylindres de 0^m,90 et 1^m,40 de diamètre avec une course commune de 2^m,20; son tambour a 8 mètres de diamètre et 4 mètres de largeur totale; il peut enrouler 1000 mètres de câble rond de 35 millimètres de diamètre. Celui-ci est un câble à « torons plats » du système Felten et Guillaume breveté et est constitué avec du fil d'acier de 180 kilos par millimètre carré.

Ce fil à haute tension s'impose afin de diminuer le plus possible le poids du câble d'extraction; plus son poids sera réduit, plus on pourra réduire la section des petits câbles qui transmettent ce poids au câble d'équilibre et plus, par conséquent, celui-ci dont le poids égale le câble d'extraction augmenté du double poids du petit câble, pourra être réduit.

Cette disposition paraît très heureuse; elle fonctionne bien.

Outre les deux câbles d'extraction (dans le système Koepe il ne faut qu'un câble d'extraction et un câble inférieur) il faut deux petits câbles et un câble d'équilibre; mais il paraîtrait que le poids total de tous les câbles est inférieur à celui de deux câbles d'extraction non équilibrés.

Les avantages de cette disposition sur la précédente sont :

1° Le tambour et par conséquent la machine ne participent pas à l'inertie de toutes les masses équilibrantes en mouvement. Il en résulte que la conduite de la machine d'extraction est extrêmement facile et que sa marche est très économique;

2° Le câble d'extraction est réduit au minimum nécessaire pour supporter la cage chargée. Pour un même poids donné à celle-ci, le câble aura la même section à toute profondeur. Ce système permet donc l'extraction à toute profondeur avec un câble dont la section est maintenue constante. C'est là son principal avantage.

Toutefois, ce qui va limiter cette profondeur, c'est la section de plus en plus grande qu'il faut donner au petit câble. Celui-ci doit être calculé pour supporter le poids du câble d'équilibre qui égale celui du câble d'extraction plus deux fois le petit câble. Si nous prenons du fil à 180 kilos par millimètre carré ou 180,000,000 kilos par mètre carré et un coefficient de 6, nous aurons la valeur x de la section utile du petit câble donnée en mètre carré par la formule suivante, 7500 kilos étant le poids d'un mètre cube d'acier et 4 1/2 kilos étant le poids du mètre courant de câble d'extraction, toujours le même quelle que soit la profondeur, h étant cette profondeur.

$$\underbrace{2 \times x \times 7,500 \times h}_{\substack{\text{2 fois le poids du petit} \\ \text{câble.}}} + \underbrace{4,5 \times h}_{\substack{\text{Poids du} \\ \text{câble d'extraction.}}} = x \times 30,000,000.$$

Si $h = 1000$ mètres, nous aurons
 $4,5 \times 1000 = x \times 30.000.000 - 2 \times x \times 7500 \times 1000$
 donc $x = 3$ centimètres carrés en acier plein et le diamètre de ce câble sera de $19^{\text{m/m}}.6$ en acier plein et de $26^{\text{m/m}}$ de diamètre fabriqué.

$$\text{Mais si } h = 2000, \text{ on a } x = \frac{4,5 \times 2000}{0} = \infty.$$

Donc, à 2000 mètres de profondeur il est impossible

d'avoir un coefficient de sécurité de 6, à moins de donner au petit câble une section infinie.

Mais avec un coefficient de sécurité de 5, par exemple, ce qui donnerait comme tension maximum par mètre carré 36,000,000 kilos, on aurait :

$$x \times 6,000,000 = 4,5 \times 2000$$

$x = 10$ centimètres carrés, soit un diamètre de $43^{\text{m/m}},7$ en acier plein ou de $58^{\text{m/m}}$ de diamètre en câble fabriqué, ce qui est considérable.

Comme on le voit, il faut du fil à haute tension.

Reprenons encore notre coefficient de sécurité de 6.

A 1200 mètres de profondeur on aurait :

$$x \times 30.000.000 - 2 \times x \times 7500 \times 1200 = 4,5 \\ \times 1200 x = 4c^2,5,$$

le diamètre du petit câble serait alors de $24^{\text{m/m}}$ en acier plein et de $32^{\text{m/m}}$ fabriqué.

A 1500 mètres de profondeur on aurait :

$$x \times 30.000.000 - 2 \times x \times 7500 \times 1500 = 4,5 \\ \times 1500 x = 9c^2.$$

soit un diamètre de $33^{\text{m/m}},8$ en acier plein et de $44^{\text{m/m}}$ fabriqué.

Comme on le voit, avec du fil à 180 kilos et un coefficient de sécurité de 6, le petit câble aurait alors $44^{\text{m/m}}$, ce qui est déjà exagéré et dépasse le diamètre du câble d'extraction.

Envisageons maintenant quelques hypothèses de rupture de câbles. La rupture du câble d'extraction n'est pas plus à envisager que dans tous les autres systèmes d'extraction employés. La rupture du câble d'équilibre proprement dit n'est guère possible attendu qu'il est toujours beaucoup trop fort pour supporter la partie de son poids qui est sous lui; il ne reste donc qu'à envisager la rupture du petit

câble quand il supporte sa charge maximum, c'est-à-dire tout le poids d'équilibre. Supposons par exemple que la cage pleine parte du fond et que le petit câble se rompe. Le câble d'extraction n'étant plus équilibré, va supporter son propre poids en plus de la cage pleine. Or, si par exemple son coefficient de sécurité est de 10, quand il est équilibré et ne supporte que la cage, il sera alors réduit dans une forte proportion; admettons un câble de 4^k,5 par mètre courant à 1000 mètres de profondeur; la section qui passera en ce moment sur la molette aura tout d'un coup un effort supplémentaire de 4500 kilos. Le choc qui en résultera inévitablement sera préjudiciable, mais on ne peut pas dire cependant qu'il amènera la rupture du câble étant donné que celui-ci, calculé pour supporter 6000 kilos avec un coefficient de sécurité de 10 ne devrait se rompre que sous une charge de 60,000 kilos et qu'il ne supportera alors que 10,500 kilos, ce qui ferait encore un coefficient de sécurité de 5,7.

Le petit câble a, en tout cas, une grande importance et doit être surveillé d'aussi près que le câble d'extraction; il est vrai de dire qu'il fonctionne dans de bonnes conditions puisqu'il ne subit qu'une seule flexion sur la poulie de renvoi au haut du châssis à molettes; la partie de ce câble qui fatigue le plus, c'est la patte d'attache au câble d'équilibre et elle supporte l'effort maximum quand elle arrive au jour.

Les recoupages à la patte ne sont possibles que pour les câbles d'extraction, pas pour les câbles d'équilibre ni pour les petits câbles, ce qui est un inconvénient.

Comme on le voit, le système ci-dessus décrit présente des avantages sur les systèmes d'équilibre usités jusqu'à présent. Il présente également des inconvénients, comme toute innovation industrielle.

Bois-du-Luc, septembre 1896.