

# Revêtements modernes des puits creusés en terrains meubles et aquifères

Adaptation d'une étude du Dr.-Ing. H. LINK

par E. DESSALLES,

Ingénieur honoraire au Corps des Mines (\*)

## SAMENVATTING

*De bekleding van de schachten die losse en waterhoudende lagen van grote dikte doorboren vormt voor het Kempens bekken een bijzonder belangrijk probleem.*

*Al de bestaande schachten zijn uitgerust met een gietijzeren bekuijing van het Duitse type. Ze bestaat in enkele of dubbele uitvoering en blijft in het algemeen voldoening geven. Niettemin heeft deze bekuijing ernstige nadelen. De vertikale en horizontale voegen evenals de bouten vergen een regelmatig onderhoud wil men belangrijke waterdoorzijpeling vermijden, en per slot van rekening blijkt het toch niet mogelijk deze te voorkomen.*

*Daarenboven komen er tamelijk veel breuken voor, en dit zowel in de wanden zelf als in de verbindings- en versterkingsribben, en ondanks het feit dat rondom de schachten een zeer uitgestrekt massief niet ontgonnen wordt.*

*In verschillende schachten moest ter versterking een inwendig « corset » aangebracht worden ; hierdoor neemt de wrijvingsweerstand in verband met de luchtverversing toe. In één geval heeft men rondom het bovenste deel van de schacht het dekterrein opnieuw moeten bevriezen en rondom de bekuijing een betonnen ring aanbrengen.*

*In de moderne schachten met hun grotere doormeter traden de hogergenoemde nadelen nog meer op de voorgrond. Alle ingenieurs zijn het dan ook eens dat in deze gevallen een andere oplossing moet gevonden worden dan de gietijzeren bekuijing.*

*De Nederlandse ingenieurs zijn de eersten geweest om aan elkaar gelaste ringen uit gewalst staal te gebruiken voor de bekleding van schachten die gedolven werden volgens het procédé Honigmann-de Vooy.*

## RESUME

*Les revêtements des puits creusés à travers de fortes épaisseurs de terrains meubles et aquifères intéressent particulièrement le Bassin de Campine.*

*Les revêtements des puits actuellement existants sont des cuvelages du type allemand, en fonte. Ils sont simples ou doubles et, d'une façon générale, ils remplissent le rôle qui leur était assigné. Mais, ce genre de cuvelage offre cependant de graves inconvénients. Les joints verticaux et horizontaux, les boulons d'assemblages donnent lieu à un entretien régulier pour éviter les venues d'eau importantes, et néanmoins, il est pratiquement impossible de les rendre absolument étanches.*

*D'autre part, les ruptures de voiles, de brides, de flasques ont été assez nombreuses, malgré l'existence autour des puits de massifs de protection inexploités très importants.*

*Des réparations par « corsets » intérieurs ont dû être faites dans plusieurs puits ; cette solution augmente la résistance des puits au passage de l'air. Dans un puits, on a dû recongeler la tête des mortsterrains et établir autour du cuvelage primitif un revêtement en béton.*

*L'augmentation du diamètre des puits modernes ne pouvait qu'aggraver les inconvénients rappelés ci-dessus. De sorte que l'opinion unanime des ingénieurs était que, dans de tels cas, il fallait abandonner les cuvelages en fonte.*

*Les ingénieurs hollandais ont donné l'exemple de l'emploi de l'acier laminé et soudé pour le revêtement de puits creusés par le procédé Honigmann-de Vooy.*

(\*) Cet article adapté par M. DESSALLES résulte de l'examen du mémoire intitulé « Neuentwicklungen auf dem Gebiete des Schachtausbaus in lockerem wasserführendem Gebirge » par le Dr.-Ing. H. LINK, de la Gutehoffnungshütte à Sterkrade, mémoire publié dans le Bulletin n° 4/1961 de ladite Société.

In Duitsland werd voor schachten met nog grotere doormeter als de voornoemde en gemaakt volgens de bevrizingsmethode gebruik gemaakt van een dubbele bekuiping in gewalst staal; het lassen gebeurde in de schacht zelf; de wrijvingsweerstand werd dank zij deze constructie sterk verminderd. Ze laat eveneens toe de schachtbeveiligingspijler kleiner te maken of geheel af te schaffen.

Samenvattend leidt deze studie tot het besluit dat een dubbele bekuiping in gelast en gewalst staal, omgeven door een mantel in bitumen, de voorkeur verdient.

Dr. LINK, de auteur van het hier vertaald en gecommentarieerd werk, is een beproefd specialist op het gebied van de bekuiping; hij heeft evenals zijn Duitse, Nederlandse en Belgische collega's veel aandacht besteed aan het probleem van de bekuiping van de schachten in de Kempen.

### INHALTSANGABE

Der Ausbau von Schächten, die durch lockere und wasserführende Gebirgsschichten von grosser Mächtigkeit niedergebracht werden müssen, wirft besonders im Kampine-Revier wichtige Fragen auf.

Die dortigen Schächte sind mit einem gusseisernen deutschen Tübbingausbau ausgerüstet, teils einwandig, teils doppelwandig. Im allgemeinen erfüllt dieser Schachtausbau zwar seine Aufgaben, doch ist er mit erheblichen Nachteilen verbunden. Die senkrechten und waagerechten Fugen zwischen den einzelnen Bauelementen und die Verbindungsschrauben erfordern eine regelmässige Ueberprüfung und Wartung, wenn man dem Zufluss erheblicher Wassermengen in den Schächten vorbeugen will. Eine vollkommene Abdichtung ist praktisch unmöglich.

Weiter kommt es häufig zu Rissen in den Stegen und Flanschen, obwohl man um die Schachtsäulen Sicherheitspfeiler, manchmal von erheblichem Umfang, stehen lässt.

In manchen Fällen haben sich Reparaturen in Form von Verstärkungsringen als notwendig erwiesen. Hierdurch jedoch erhöht sich der Wetterwiderstand. In einem Schacht musste man das Deckgebirge neu einfrieren und um die Tübbingsäule herum einen Betonkranz legen.

All diese Schwierigkeiten nehmen mit der Vergrösserung des Durchmessers in den modernen Schächten noch weiter zu, so dass die Fachkreise sich einhellig für die Abkehr vom gusseisernen Tübbingausbau in solchen Fällen ausgesprochen haben.

Holländische Ingenieure verwandten erstmalig in Schächten, die nach dem Honigmann-de Vooy's Verfahren niedergebracht worden waren, einen Ausbau aus verschweisstem Walzstahl. In Deutschland hat man Gefrierschächte von grossem Durch-

En Allemagne, pour le creusement de puits de diamètres plus grands que ceux cités ci-dessus, on a revêtu les puits creusés par congélation de cuvelages doubles en acier laminé; les éléments de ce cuvelage étaient soudés dans le puits même, genre de construction qui diminue considérablement les résistances à la circulation de l'air.

On verra aussi qu'il est adopté en vue de supprimer ou de diminuer l'importance des massifs de protection.

En résumé, l'étude décrit et justifie la construction d'un cuvelage double, en acier laminé et soudé, enveloppé d'un manteau de bitume.

Le Dr. LINK, l'auteur du mémoire traduit et commenté, est un spécialiste très averti de la question de cuvelage; il a étudié, comme d'autres ingénieurs allemands, hollandais et belges, le problème du revêtement des puits de Campine.

### SUMMARY

The linings of shafts sunk through very thick layers of loose aquiferous ground are of particular concern in the Campine basin.

The linings of already existing shafts consist of cast-iron tubbings of the German type. They are single or double, and, generally speaking, they fulfill the rôle assigned to them. However, this kind of tubing presents serious disadvantages. The vertical and horizontal joints, the assembly bolts require regular maintenance to avoid large infiltrations of water, and yet it is practically impossible to avoid the latter.

In addition, there have been quite a lot of broken segments, flanges and clamping plates, despite the fact that there were considerable unworked safety pillars around the shaft.

Repairs by means of internal « corsets » have had to be carried out in several shafts; this solution increases the resistance of the shaft to the passage of air. In one shaft, it was necessary to re-freeze the top of the non-carboniferous overburden and to construct a concrete lining around the original tubing.

The increase in the diameter of modern shafts could only intensify the disadvantages mentioned above. Therefore, the engineers were of the unanimous opinion that, in such cases, cast-iron tubbings should be abandoned.

The Dutch engineers gave the example of the use of welded laminated steel for the lining of shafts sunk by the Honigmann-de Vooy's process.

In Germany, in the case of shafts of greater diameter than those mentioned above, the shafts sunk by the freezing process have been lined with double

messer mit doppelwandigen Walzstahl-tübbinggen ausgebaut. Die einzelnen Segmente werden im Schacht selbst zusammengeschweisst, was den Wetterwiderstand weitgehend einschränkt.

Dieser Ausbau gestattet ausserdem, den Umfang des Sicherheitspfeilers zu verringern oder ihn vollkommen abzubauen.

Im ganzen gesehen enthält der Aufsatz eine Beschreibung und Empfehlung eines doppelwandigen Tübbingausbaus aus geschweisstem Walzstahl mit einem äusseren Bitumenmantel.

Der Verfasser des hier in Uebersetzung wiedergegebenen und kommentierten Aufsatzes, Dr. LINK, ist ein Spezialist in Fragen des Tübbingausbaus und hat ebenso wie andere deutsche, holländische und belgische Fachleute die Fragen des Schachtausbaus in der Campine eingehend untersucht.

L'auteur du mémoire que nous examinons est un spécialiste de la question des cuvelages. Il a publié, sur ce sujet, plusieurs études très intéressantes, et a établi mathématiquement des formules bien justifiées pour le calcul des revêtements métalliques des puits.

D'autre part, il a eu à étudier le problème du cuvelage tel qu'il se présente en Campine, où l'on rencontre 600 m de morts-terrains aquifères. C'est alors que nous avons eu l'occasion d'examiner avec lui cette difficile question, qui était d'autre part l'objet de l'étude d'un groupe d'ingénieurs belges et hollandais. Depuis lors, des réalisations nouvelles ont été faites en Hollande et en Allemagne et l'étude de M. Link montre les progrès réalisés ainsi que ceux qui pourraient l'être encore.

La note que nous donnons ci-après concernant ce travail, est en grande partie un résumé adapté aux puits profonds et complété, en certains endroits, d'avis personnels, qui ne contredisent d'ailleurs en rien l'exposé de l'auteur.

Dans cette étude, on examine successivement :

- 1°) Les conditions auxquelles doit satisfaire le genre de revêtement.
- 2°) D'une façon sommaire, les types de construction adoptés antérieurement.
- 3°) L'évolution intervenue dans les nouveaux genres de revêtement.
- 4°) Un exemple de revêtement nouvellement exécuté.
- 5°) Les possibilités de l'évolution future.

#### 1. Conditions auxquelles doit satisfaire le genre de revêtement.

11. Dans les morts-terrains meubles et aquifères, le revêtement des puits est principalement constitué par un cuvelage simple ou double, en fonte ou en acier. L'espace entre la roche et éventuellement les cylindres concentriques, est rempli de béton.

tubbing in laminated steel ; the parts of this tubbing are welded in the shaft itself ; this kind of construction considerably lessens the resistances to air circulation.

It will also be seen that it has been adopted in order to eliminate or reduce the size of the safety pillars.

In short, the report describes and justifies the construction of double tubbing in welded laminated steel, enveloped in a bituminous casing.

Dr. LINK, the author of the translated and commented report, is a very experienced specialist in the question of tubbing ; like other German, Dutch and Belgian engineers, he has studied the problem of shaft lining in the Campine shafts.

Par raison de sécurité et pour avoir une étanchéité complète par rapport aux terrains aquifères, on écarte les simples revêtements en béton ou en briques.

La sécurité réelle des cuvelages est toujours une inconnue, car les charges du revêtement ne peuvent être connues avec certitude. On essaie d'obtenir la plus grande sécurité possible parce qu'un puits ne peut généralement remplir son rôle de façon satisfaisante que : si le revêtement ne se déforme pas, s'il est aussi étanche que possible à l'eau et s'il n'est pas sujet à rupture car des ruptures de cuvelages peuvent avoir des conséquences très coûteuses, sinon désastreuses. Il est bon de rappeler qu'on a vu des puits cuvelés s'effondrer, entraînant dans le vide creusé les bâtiments et installations voisines.

12. En général jusqu'à présent, on ménage autour des puits un massif inexploité, pour qu'ils ne soient pas atteints par les cassures d'exploitation. Mais pour les puits profonds, ces massifs sont très grands et leur existence cause une perte de gisement importante. On verra ci-après sous quelles conditions de construction on espère pouvoir exploiter sans danger les massifs en question.

13. Le creusement des puits en terrains meubles et aquifères s'est fait, depuis longtemps, comme on le sait, à niveau plein et par congélation.

Le procédé par congélation est encore le plus employé, en particulier pour les fortes épaisseurs des morts-terrains et pour les puits de très grand diamètre.

Le type de revêtement dépend du procédé de creusement adopté, comme on le verra plus loin.

14. Le puits devant servir généralement à plusieurs usages : extraction, transport du personnel, aérage, doit avoir une section suffisante pour permettre d'établir un guidage convenable, des cages

ou des skips, la pose des câbles et des tuyauteries nécessaires et offrir une résistance minimale au passage de l'air.

## 2. Types de revêtement habituels.

21. Pour les puits creusés par congélation, le revêtement traditionnel, dirions-nous, était jusqu'il y a une dizaine d'années les cuvelages en fonte du type dit « allemand ». Tous les cuvelages de Campine sont en fonte. Ils peuvent être simples ou doubles avec, dans ce dernier cas, remplissage en béton de l'espace situé entre les cylindres. Ces types étant classiques, nous n'en reprendrons pas la description.

Ils se posent par « passes » de longueur variable d'après la nature des terrains, d'ordinaire en montant ; parfois, en descendant, quand en traversant des terrains dits « poussants », on est forcé d'adopter cette méthode de pose.

Dans un grand nombre de puits cuvelés en fonte, on a eu des fissures, des ruptures de couronnes et de segments. Les venues d'eau qui en résultent, les réparations nécessaires, sont des charges assez lourdes et nous avons rappelé plus haut une catastrophe due à une rupture de cuvelage.

22. Pour ces raisons, on a d'abord envisagé les cuvelages en acier coulé, mais leur emploi ne s'est pas développé et on s'est tourné vers celui de l'acier laminé, dont la qualité bien supérieure a l'avantage de pouvoir être contrôlée de façon rigoureuse.

Avec le procédé perfectionné de creusement par niveau plein (Honigmann-de Vooy), on a déjà creusé et revêtu différents puits, avec cuvelages généralement doubles en acier laminé. La figure 1 en représente un type. Il est fait au moyen de fers U de 30 à 40 cm de hauteur, assemblés par soudure ou

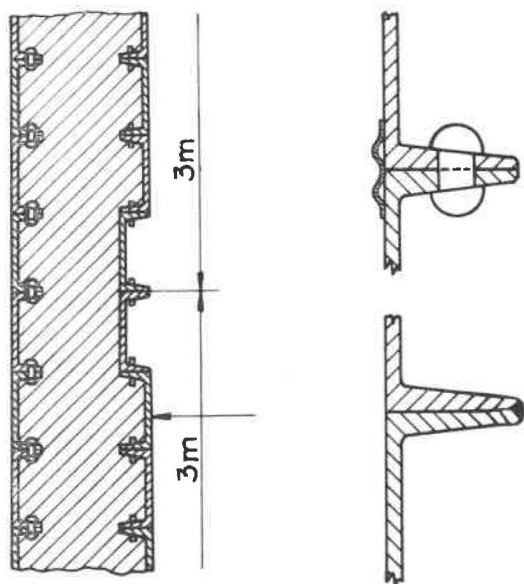


Fig. 1. — Profil en fer U pour revêtement de puits.

par rivets, chaque joint étant soudé ou recouvert d'une tôle soudée.

Jusqu'à présent les défauts de ces cuvelages n'ont pas été examinés systématiquement, mais ils doivent être beaucoup moins nombreux que ceux des cuvelages en fonte.

## 3. Evolution dans les nouveaux genres de construction.

Après 1945, on reprit l'étude des cuvelages et des creusements de puits pour écarter les inconvénients des cuvelages traditionnels et avec l'espoir de trouver le moyen d'exploiter systématiquement et complètement les massifs de protection des puits. De plus, on voulait avoir des revêtements :

- 1°) étanches ;
- 2°) peu résistants au passage de l'air.

Enfin, on voulait étendre, aux puits creusés par congélation, les expériences favorables faites, dans les puits creusés par forage, avec les revêtements en acier laminé.

En 1950, les Mines d'Etat Hollandaises avaient creusé un puits par le procédé « Honigmann-de Vooy » revêtu d'un cuvelage double en acier laminé, de construction entièrement soudée, avec remplissage en béton de la couronne comprise entre les cuvelages. Des nervures soudées aux parois de cette couronne assuraient, par l'intermédiaire du béton, une certaine solidarité mécanique entre les deux cuvelages (interne et externe).

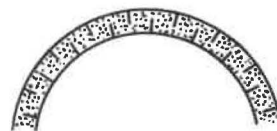


Fig. 2.

Le revêtement satisfait entièrement aux deux conditions énoncées ci-dessus.

Quelques années plus tard, dans les mêmes mines, on creusa deux puits par congélation, avec revêtement en béton armé.

La caractéristique la plus importante de ces cuvelages a été leur enveloppement extérieur par un manteau de bitume qui améliorait l'étanchéité et diminuait l'action éventuelle des mouvements de terrain sur la construction, ainsi qu'il sera exposé ci-dessous.

En Allemagne, on chercha d'autres solutions pour le revêtement des puits avec congélation.

Dans deux cas, on a employé des cuvelages fabriqués avec de l'acier laminé et avec soudure. Les éléments du cuvelage, flasques, nervures, étaient soudés aux tôles de l'âme, et étaient assemblés par boulons, avec joints en plomb, comme dans les cuvelages en fonte. A l'extrados des segments, étaient soudés des éléments d'ancrage dans le béton, ce qui

n'existait pas dans les cuvelages en fonte. Les segments en acier laminé avaient une épaisseur d'environ la moitié de celle nécessaire en cas d'adoption de la fonte. Les segments étant plus longs, plus hauts, le nombre de joints à boulonner et à mater était réduit.

Un autre puits fut construit avec un cuvelage double et avec remplissage de béton intermédiaire. Le creusement par congélation se fit jusqu'au Houiller, comme d'ordinaire par passes ; les parois de celles-ci furent revêtues de béton sur une épaisseur suffisante pour soutenir transitoirement les parois, le puits fut ensuite rempli d'eau et on descendit, par flottation, le cuvelage pourvu d'un fond. L'espace compris entre le revêtement auxiliaire primitif et le cuvelage fut rempli de bitume.

La Société G.H.H. a déduit de ses recherches des solutions nouvelles pour la construction et la pose des cuvelages. L'excellent comportement de l'acier avec le béton, dans les cuvelages des puits creusés par forage, montre qu'une association convenable du béton, dans la construction, augmente de façon importante la capacité de résistance du revêtement.

La parfaite aptitude au soudage de l'acier est une indication de plus à utiliser pour les cuvelages. Leurs éléments peuvent se relier entre eux, par soudure, sans points faibles et les ancrages peuvent être faits aisément et simplement. De même les consoles et les supports pour les guides, les tuyauteries et les câbles peuvent être facilement soudés aux endroits désirés.

Pour diminuer le nombre de liaisons, on utilise des éléments aussi grands que possible. Seules les tôles d'acier peuvent être employées simplement, économiquement et avec gain de temps, aussi bien pour le façonnage que pour la mise en place.

L'exécution soignée de soudures à angle obtus assure l'étanchéité, la faible résistance au courant d'air et des qualités équivalentes à celles de l'acier laminé. Pour économiser le temps de préparation et de montage, la soudure automatique peut être employée.

Ce genre de construction à assemblages lisses évite les surtensions qui existent inévitablement dans les angles formés par les brides et les voiles des segments utilisés antérieurement.

Pour les puits de très petit diamètre et de faible profondeur, le simple cuvelage suffit, consolidé parfois par des renforts circulaires.

Pour des diamètres un peu plus grands, la liaison par ancrages avec le béton extérieur est employée.

Pour les grands diamètres, utilisés à présent pour les puits profonds, à grande production, le cuvelage double en acier laminé avec liaison assurée entre les deux cylindres et béton intercalaire, et éventuellement bitume dans la couronne extérieure, est le plus recommandable.

La tension tangentielle dans l'acier est une fonction linéaire de  $y/i^2$ . Le diagramme (fig. 3) permet

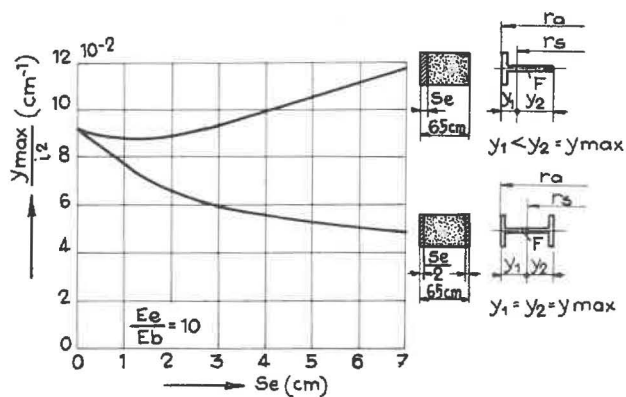


Fig. 3. — Tensions de flexions comparées dans les cuvelages en acier laminé simples et doubles.

de comparer les valeurs de  $y/i^2$  pour deux cas, pour un même poids d'acier et une même section totale  $Se$ .

La courbe supérieure est relative au cuvelage simple, l'inférieure au cuvelage double. Pour une même section totale  $Se$ , on voit que la tension tangentielle est notablement plus faible dans le deuxième cas. Pour une épaisseur de 60 mm, la tension est diminuée de moitié.

L'adoption d'un manteau de bitume se justifie par les raisons suivantes.

Si les terrains exercent une pression unitaire normale  $p$ , il en résulte que  $\mu$  étant le coefficient de frottement (terrain sur acier), si les terrains se mettent en mouvement vers le bas, un effort unitaire de frottement  $\tau = p\mu$  s'exerce dans la même direction.

Si la pression des terrains agit sur une matière visqueuse, la couche extérieure est entraînée avec une vitesse  $V$ , fort lente assurément, par exemple 1 cm par jour, les couches voisines sont entraînées avec une vitesse de plus en plus lente et comme l'effort est donné par la formule

$$\tau = \eta \frac{V_0}{a} = \eta \frac{dv}{dx}$$

pour que l'effort soit nul au bord du cuvelage, il faut que  $v$  soit nul en ce point, d'où

$$\frac{dv}{dx} = \frac{V}{a}$$

$\eta$  est le coefficient de viscosité dynamique

$$\eta = 1.35 \cdot 10^{-5} \cdot \nu,$$

$\nu$  étant le coefficient de viscosité cinématique.

$$\eta = \left( \frac{\text{tonnes}}{\text{m}^2} \right).$$

L'auteur donne, d'après les indications de Shell, un diagramme des valeurs de  $\nu$  en fonction de la température, pour différents bitumes ou mélange de bitume avec de la farine de calcaire.

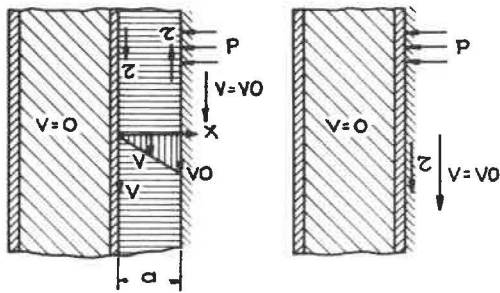


Fig. 4.

$$\tau = \eta \cdot dv/dx = \eta \cdot Vo/a \quad \tau = p\mu$$

Loi de Newton.

$\tau$  dépend de  $Vo$  (vitesse de déplacement des terrains) et est indépendant de  $P$ .  
 $\tau$  est dépendant de  $P$  et indépendant de  $Vo$ .

Effort rasant dû à des actions extérieures au cuvelage :  
 A gauche, avec couche de bitume (frottement entre liquides).  
 A droite, par contact immédiat avec la roche (frottement entre solides).

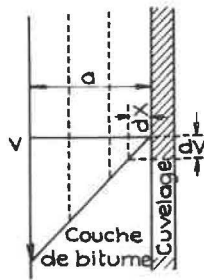


Fig. 4 bis.

Les mouvements du sol dépendent dans une grande mesure de la méthode d'exploitation. En pratique, il n'est pas possible d'avoir, pour toutes les couches en exploitation, une même vitesse de descente. C'est pourquoi des cuvelages ont été souvent endommagés parce qu'ils ont subi les effets des variations d'allongement ou de raccourcissement des terrains.

Si l'on entoure le cuvelage d'un manteau de bitume, la charge verticale, suivant l'axe des puits, dépend de la vitesse du mouvement relatif du terrain par rapport au cuvelage et de la viscosité du bitume.

Sur la figure 5, les charges verticales sont représentées, pour un puits traversant 264 m de morts-terrains, dans deux hypothèses, avec ou sans emploi du manteau de bitume. Ces courbes sont tracées prudemment, plutôt au désavantage de la première hypothèse.

- $\eta = 15 \times 10^8 \text{ kg s/cm}^2$
- $V = 1 \text{ cm/jour}$
- $a = 15 \text{ cm}$
- $\mu = 0,25$
- $p_g = 0,3 = \text{majoration de pression due au terrain}$
- $p_w = \text{pression hydrostatique.}$

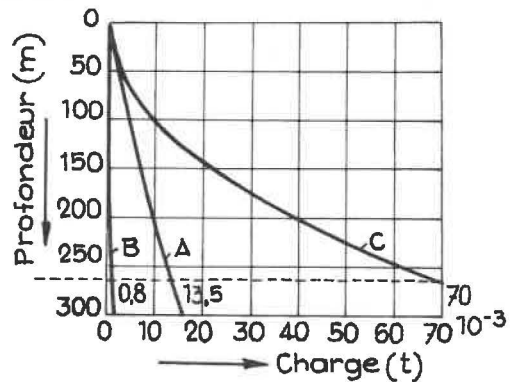


Fig. 5. — Charge axiale du cuvelage.

- A. Charge axiale due au poids propre.
  - B. Charge due au mouvement des terrains avec bitume  $\tau = \eta \cdot v/a$
  - C. Charge axiale sans bitume  $\tau = p_g \cdot \mu$ .
- $\eta = 15 \cdot 10^8 \text{ kg s/cm}^2$   
 $V = 1 \text{ cm/jour}$   
 $a = 15 \text{ cm}$   
 $\mu = 0,25$   
 $p_g = 0,3 \cdot p_w$   
 $p_w = \text{pression d'eau}$

Le bitume joue aussi un rôle favorable, dans le cas d'une poussée horizontale non équilibrée, donnant lieu à un écoulement horizontal très lent des morts-terrains, qui en réalité exerce sur le cuvelage des efforts dynamiques. La plasticité du bitume amortit ceux-ci ; le bitume s'écoule lentement et protège le cuvelage aussi longtemps que celui-ci ne vient pas en contact direct avec le terrain, ce qui doit être rare.

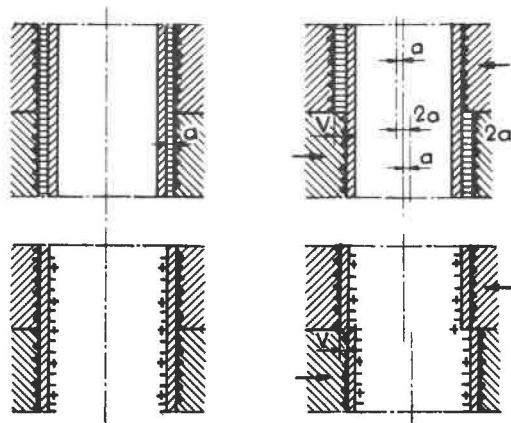


Fig. 6. — Comportement du revêtement sous l'action de mouvements horizontaux de terrain.

En haut : avec application du manteau de bitume dans le cas d'un déplacement horizontal égal à deux fois l'épaisseur de la couche de bitume  $a$ .

En bas : sans couche de bitume, on voit le déplacement relatif horizontal du cuvelage.

La figure 6 représente, au-dessus, un cuvelage avec manteau de bitume, en dessous, un cuvelage sans manteau.

Avec bitume : la poussée horizontale repousse tout le bitume vers l'arrière et permet un déplacement horizontal des terrains d'environ 15 cm.

Sans bitume : la poussée latérale provoque un effort tranchant qui peut déplacer le cuvelage latéralement (cas réellement constaté).

Pour la mise en place d'un cuvelage soudé de l'espèce, dans un puits creusé avec congélation, on ne peut adopter les moyens employés dans les creusements Honigmann-de Vooy. Il faut des moyens nouveaux qui sont décrits ci-après.

**4. Exemple de revêtement nouvellement exécuté.**

La Société Minière Mathias Stinnes a creusé deux puits Wulfen 1 et 2, à travers 800 m de morts-terrains, dont environ 250 m de terrains meubles et aquifères. Pour la traversée de ceux-ci, on a congelé les terrains jusqu'à 270 m.

Les cuvelages doubles ont été fabriqués et posés par la Société Gutehoffnungshütte à Oberhausen.

Les puits avaient 7,30 m de diamètre intérieur, l'épaisseur moyenne du cuvelage double, avec remplissage de la couronne intercalaire en béton, était de 65 cm.

L'acier employé était de l'acier à grains fins, ayant une résistance à la traction de 50 à 60 kg/mm<sup>2</sup> et un coefficient d'élasticité de 36 kg/mm<sup>2</sup>. Le béton était de qualité B. 450.

Le puits a d'abord été creusé par congélation à terre nue, au diamètre de 9,60 m, par passes suivant la méthode traditionnelle jusqu'à 270 m, les passes successives étant soutenues par un mur de béton de 35 cm d'épaisseur ; il restait donc un diamètre intérieur de 8,90 m.

Le cuvelage proprement dit avait un diamètre extérieur moyen de 8,60 m ; la largeur radiale de la couronne annulaire comprise entre la paroi de béton

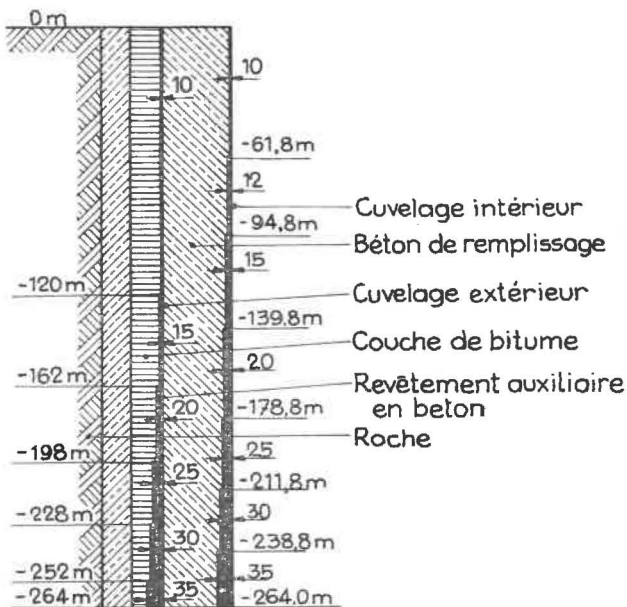


Fig. 7. — Coupe à travers le revêtement des puits de Wulfen.

et le cuvelage, était de 15 cm de largeur. Cet intervalle fut rempli de bitume, formant le manteau visqueux dont on a parlé ci-dessus.

Le cuvelage proprement dit est représenté en section verticale à la figure 7. Les cylindres extérieur et intérieur sont formés d'anneaux soudés, de 3 m de hauteur chacun, d'épaisseur croissant du sommet à la base du cuvelage, épaisseurs qui vont de 10 à 35 mm.

Sur le cylindre intérieur sont soudés des fers d'ancrage dans le béton, comme le montre la figure 8.

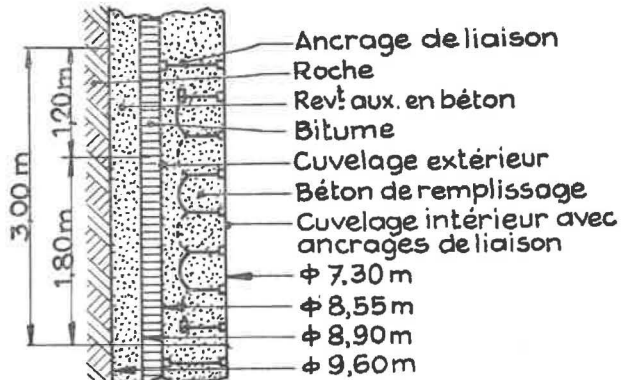


Fig. 8. — Coupe à travers le revêtement avec éléments d'ancrage de liaison.

En outre tous les 3 m, les deux cylindres sont réunis par des entretoises régulièrement espacées dans un plan horizontal.

La base du cuvelage repose sur une assise en béton armé (fig. 9) avec intercalation d'une épaisse plaque en plomb qui, par sa plasticité, pourrait permettre une certaine déviation de l'assise des fondations, sous l'action des travaux miniers.

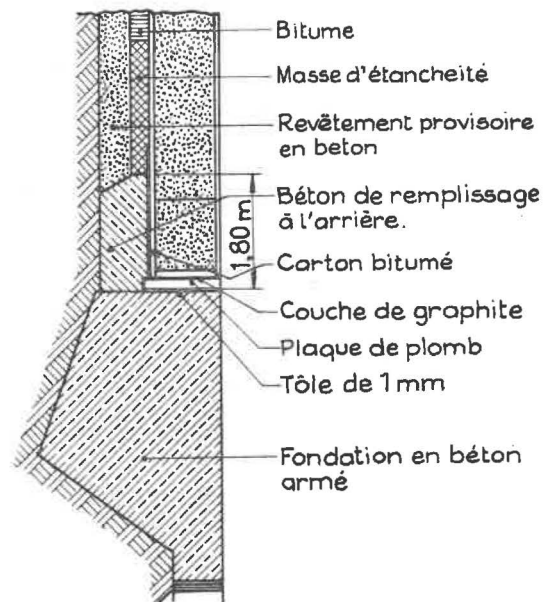


Fig. 9. — Position du cuvelage sur la fondation.

A la partie supérieure du puits, le cuvelage passe, avec un léger jeu, à travers une bague de guidage, permettant ainsi, sans contrainte, des mouvements dans le sens axial.

La pose du cuvelage a été faite sans interruption en allant de bas en haut.

Les segments cintrés de 3 m de hauteur et de longueur suivant l'arc de circonférence mesurant  $\frac{1}{3}$  de celle-ci, soit 9 m pour le cuvelage extérieur et 7,66 m pour le cuvelage intérieur, étaient préparés dans les ateliers du constructeur et expédiés, par paire, un intérieur et un extérieur chaque fois, à la mine au moyen de camions.

Dans ce qu'on appelle, en Belgique, la tour du fonçage, on assemble 3 segments de chaque cuvelage, pour en former un anneau.

Les paires de segments arrivant de l'atelier sont déchargées du camion par des palans mobiles, qui roulent sur les traverses du châssis du fonçage. Ils sont déposés sur des planchers de forme trapézoïdale

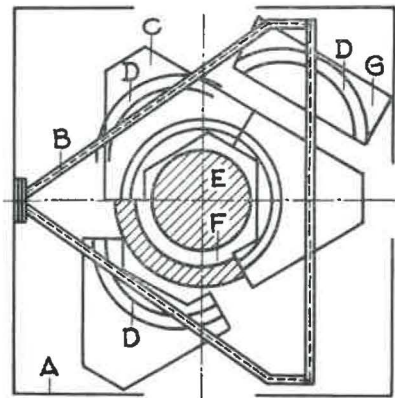


Fig. 10. — Installation de montage à la surface (vue du dessus).

- A. Tour de fonçage
- B. Châssis de fonçage
- C. Plancher mobile
- D. Segment en tôle laminée
- E. Clapet de protection
- F. Plancher fixe
- G. Camion

(fig. 10) dont les axes convergent vers le centre du puits, en faisant entre eux des angles de  $120^\circ$ ; ces planchers sont mobiles, dès qu'ils sont chargés, on les pousse vers le centre de manière à former les deux anneaux. Les segments sont alors maintenus en place, par une forte bague de montage qui s'insère entre les deux cylindres.

On procède alors à la soudure, les biseaux ayant été préparés à l'atelier; ces soudures étaient faites à la main; on peut cependant envisager de les faire automatiquement (comme nous l'avons déjà dit).

Quand les soudures sont terminées, 3 treuils soulèvent la bague de montage avec les 2 cylindres de 3 m de hauteur; on les descend dans le puits jusqu'aux planchers de montage et on les décharge l'un après l'autre, à l'endroit où ils doivent respective-

ment être assemblés, c'est-à-dire à la partie supérieure des cylindres déjà posés.

Dans le puits se trouve le plancher de montage représenté par la figure 11. Les soudures se font par des appareils automatiques. Pour pouvoir souder simultanément un anneau extérieur et un anneau intérieur, le cylindre extérieur est toujours en avance d'un anneau et demi sur le cylindre intérieur.

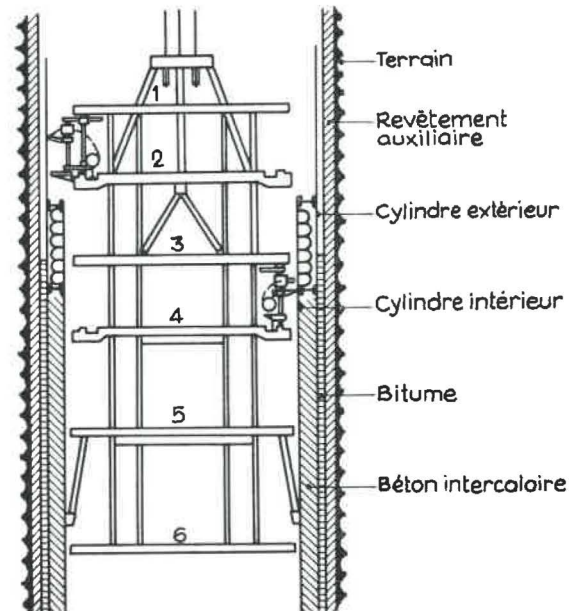


Fig. 11. — Planchers de travail dans le puits.

- 1. Bituminage
- 2. Soudure des cylindres extérieurs
- 3. Bétonnage
- 4. Soudure des cylindres intérieurs
- 5. Soudure des consoles
- 6. Installations électriques

Après le montage des deux anneaux, on bétonne l'intervalle qui les sépare.

Puis on remplit de bitume l'intervalle existant entre le cuvelage extérieur et le revêtement auxiliaire en béton.

On remonte ensuite les planchers de 3 m. Pendant les opérations du fond qui viennent d'être décrites, on préparait une paire d'anneaux à la surface. De cette façon, le travail ne subissait pas d'interruption.

Les consoles et supports nécessaires pour les « guidonnages », les tuyauteries et les câbles sont soudés au cuvelage intérieur.

Les soudures faites à la surface sont contrôlées par un procédé utilisant les isotopes. Les soudures faites au fond l'étaient par les ultra-sons.

Le cuvelage d'un puits pèse environ 2.100 t. Celui du puits 1 a été placé en 6 mois, celui du puits 2 en 5 mois. En même temps, les remplissages en béton et en bitume étaient effectués. La plus grande vitesse mensuelle d'avancement à la pose a été de 78 m en mars 1960, au puits n° 2. Les revêtements se sont montrés absolument étanches.



### 5. Evolution ultérieure.

La soudure offre un inconvénient ; elle demande beaucoup de temps. Il importe de réduire ce temps et on peut y arriver : en faisant des anneaux plus hauts et par une automatisation plus grande de la soudure elle-même, en particulier pour les soudures verticales. On doit simplifier et accélérer le bétonnage et le remplissage de bitume.

Il y aurait lieu aussi de normaliser les puits et leur équipement de manière à pouvoir réutiliser les installations de fonçage, de revêtement et d'équipement des puits.

Par une utilisation meilleure des 6 planchers, on peut s'occuper du montage de deux anneaux à la fois, comme le montre la figure 12.

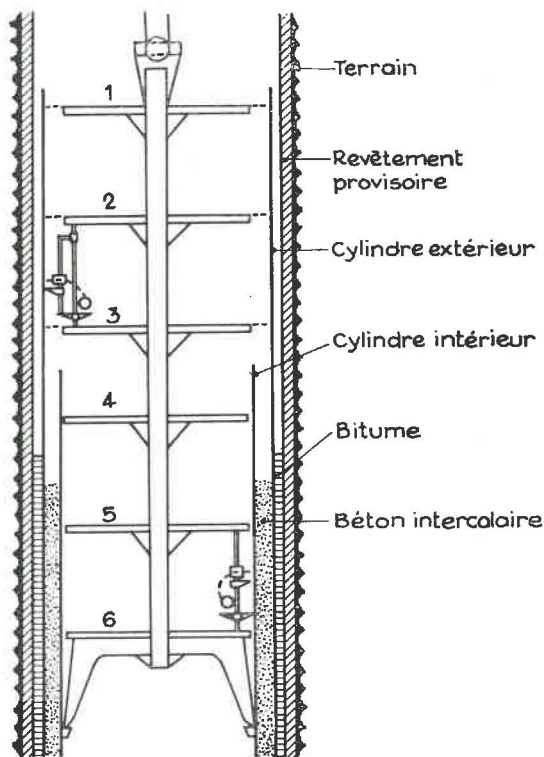


Fig. 12. — Disposition plus perfectionnée des planchers de travail dans le puits.

- |               |               |
|---------------|---------------|
| 1. Bituminage | 4. Bétonnage  |
| 2. Assemblage | 5. Assemblage |
| 3. Soudure    | 6. Soudure    |

On arriverait ainsi à raccourcir d'un tiers le temps nécessaire au revêtement.

Indépendamment des moyens indiqués ci-dessus par M. Link, notons que des projets très bien étudiés ont été établis par des ingénieurs hollandais pour appliquer, même avec des revêtements analogues à ceux de Wulfen, le procédé — ancien d'ailleurs — de creusement et de revêtement simultanés, qui a obtenu de si grands succès en Afrique du Sud.

L'auteur a montré l'emploi d'ancrages pour renforcer le cuvelage intérieur. Nous avons eu l'occasion d'étudier cette question il y a quelques années. Par analogie avec les entretoises des foyers de locomotives et pour éviter le flambage circulaire, si bien exposé par Bresse déjà en 1859 (Cours de Mécanique appliquée de l'Ecole des Ponts et Chaussées), nous avons préconisé l'entretoisement des deux parois. Certains constructeurs estiment que cela n'est pas nécessaire et que les ancrages dans le béton suffisent ; d'autres ont adopté cet entretoisement et on en a vu un exemple, à Essen, à une exposition minière. Un constructeur belge a adopté un entretoisement différent. L'avantage de cet entretoisement, que n'a pas l'ancrage, est l'augmentation de la résistance aux efforts rasants qui se manifestent dans le flambage circulaire.

### 6. Conclusions.

Cette étude montre qu'à présent, grâce à l'emploi de l'acier laminé, avec des cuvelages doubles, reliés entre eux par des ancrages et avec utilisation de manteau de bitume, on peut établir des puits de grandes dimensions (les seuls à envisager pour les puits profonds), étanches et résistants, à travers des terrains meubles et aquifères.

On objectera que l'exemple traité a dû être coûteux ; mais étant donné le but à atteindre : supprimer le massif de protection des puits, massif dans lequel on abandonnerait dans le cas indiqué un tonnage de plusieurs millions de tonnes, l'excédent de prix de premier établissement sera largement compensé par le produit de l'exploitation.

La Société Mathias Stinnes et la G.H.H. ont osé entreprendre un travail de pionniers — de « Bahnbrechers » — ils ont réussi et nous sommes reconnaissants au Dr. Link d'avoir publié son intéressante étude.