

DEUX PROGRÈS  
RÉALISÉS DANS LA  
MÉTHODE DE CIMENTATION  
POUR LE  
**CREUSEMENT DE PUIITS PROFONDS**  
**en terrains aquifères**

Cimentation systématique et cimentation méthodique.  
Creusement simultané des puits. — Une application en cours  
à Kreuzwald (Lorraine)

*Note présentée à la discussion de la question  
des creusements de puits au CONGRÈS INTERNATIONAL DES MINES  
ET DE LA MÉTALLURGIE, DE DUSSELDORF, le 20 juin 1910*

PAR

EM. GEVERS-ORBAN,

Ingénieur-Directeur des travaux aux Charbonnages de l'Espérance  
et Bonne-Fortune, à Montegnée-Liège

I. — Injection par l'intérieur du puits.

Le travail de creusement avec cimentation du puits Victoria qui nous est révélé aujourd'hui par le remarquable rapport de M. le Directeur Bruckhausen, me fournit l'occasion de présenter quelques considérations analytiques et comparatives sur les différentes manières de creuser les puits avec cimentation.

Les beaux résultats obtenus à Victoria, dans cette passe de marnes aquifères de 342 à 437 mètres, me paraissent dûs en grande partie à ce fait que l'on y a cimenté chaque fissure en particulier.

Cette obturation réalisée fissure après fissure, nous la qualifierons de *cimentation méthodique*.

Lorsque, au contraire, comme c'est la pratique dans le Nord de la France, on injecte du ciment en masse dans toute une zone de terrain plus ou moins épaisse, nous dirons que c'est de la *cimentation systématique*.

A Victoria, M. Bruckhausen nous apprend qu'il y avait une très grande fissure aquifère et plusieurs petites. Si l'on avait fait là de la cimentation systématique, il est fort à craindre que la très grande fissure eût absorbé tout le ciment, laissant les petites fissures imparfaitement obturées.

Ici apparaît la différence entre la cimentation *systématique* et la cimentation *méthodique* sur lesquelles nous reviendrons encore plus loin.

Mais un tout autre point de vue est la *durée* du travail de fonçage d'un puits.

Si, à Victoria, les fissures aquifères avaient été très nombreuses et que la marne eût été friable, poreuse même, le travail de cimentation progressif et intermittent, par l'intérieur du puits, comme il a été exécuté, eût duré fort longtemps, et l'on n'aurait guère approché des avancements mensuels de 14 mètres qui ont été effectivement réalisés.

A ce point de vue de la durée des travaux, on est souvent obligé de recourir aux sondages placés à l'extérieur des puits, par les procédés que nous discutons ci-après.

Reconnaissons toutefois que la méthode de cimentation par l'intérieur du puits en creusement, dont le puits Victoria montre la dernière et la plus belle application, a déjà produit, en maintes circonstances, d'excellents résultats :

*En 1900, à Pohlau, en Saxe, une passe de 22 à 125 mètres dans le permien ;*

*En 1903, à Zauckerode, en Saxe, une passe de 91 à 240 mètres dans le porphyre ;*

*En 1906, à l'Escarpelle, une passe de 140 à 180 mètres en calcaire carbonifère ;*

*En 1906, au puits 3<sup>ter</sup> de Liévin, une passe de 29 à 70 mètres dans les craies ;*

*En 1907, à Sachsen-Weimar, de 530 à 584 mètres, dans les dolomies du Zechstein (au-dessus du permien) ;*

*En 1908, à deux puits de Marles (Pas-de-Calais), des passes dans les craies et dans un ancien puits, éboulé depuis la surface jusque 65 mètres.*

## II. — Cimentation systématique.

Déjà au Congrès international de Liège en 1905, le rapport de M. Portier avait montré de beaux résultats obtenus dans le Nord de la France, par la cimentation des terrains aquifères pour le fonçage des puits.

Depuis lors, MM. J. Lombois (1) et Saclier (2) ont publié, sur des fonçages de l'espèce, dirigés par eux, des rapports détaillés qui ont suscité le plus vif intérêt dans les milieux compétents.

Grâce à ces deux études, la cimentation est actuellement, en France, d'une application classique et courante.

Dans cette méthode, les phases du travail se succèdent à peu près comme suit :

1° Forer autour du puits et en partant de la surface, des trous de sondage en nombre suffisant et jusqu'aux terrains imperméables ;

2° Injecter du lait de ciment dans ces trous, en une fois ou par sections, ce que nous avons qualifié plus haut de cimentation *systématique* ;

3° Creuser le puits.

(1) J. LOMBOIS : Cimentation des terrains aquifères de la Compagnie des Mines de Béthune. — *Bulletin de la Société de l'Industrie minière*, 1908, 4<sup>me</sup> liv.

(2) M. SACLIER : Creusement des puits du siège Edouard Agache. — *Annales des Mines de France*, 1908, 4<sup>me</sup> liv.

Mais, cette manière de travailler, qui a fait ses preuves dans les terrains crétacés du Nord de la France, n'est pas nécessairement applicable, telle quelle, en d'autres circonstances. Nous précisons : Dans des terrains poreux, tels le grès vosgien, ou à fissures très minces, la pénétration du ciment ne serait pas suffisante.

Pour des puits profonds, par exemple, de plus de 200 mètres, la succession des travaux durerait très longtemps.

Nous exposons ci-dessous les progrès réalisés à ces deux points de vue.

### III. — La cimentation méthodique en partant de la surface.

Supposons que l'on injecte du lait de ciment, par un ou plusieurs trous de sonde à la fois, dans une assise de terrain contenant de nombreuses fissures (fig. 1).

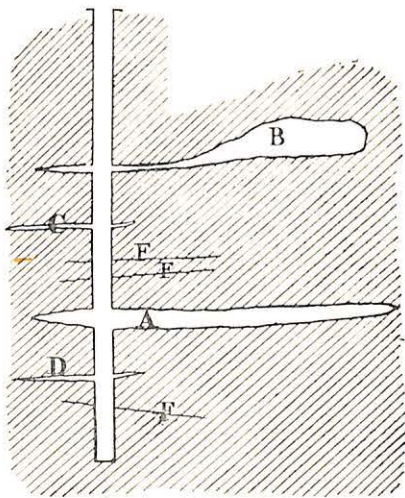


Fig. 1.

*A* est une fissure bien ouverte ;  
*B* est une fissure étranglée ;  
*C* et *D* sont des fissures minces ;  
*F* et *F'* sont des fissures capillaires,

Il est bien connu et d'ailleurs évident que, au début, tout le lait de ciment va entrer dans les grandes fissures comme *A* (1) ; pendant ce temps aucune pression ne s'établit dans le trou de sonde ; tant qu'il y a peu ou pas de pression, le ciment n'entrera pas dans les fissures plus étroites ; cependant, du ciment se dépose, en petite quantité, à l'entrée de ces fissures étroites. Lorsque la pression montera un peu, le ciment ira se loger dans les fissures étranglées, comme *B* ; enfin, quand la pression deviendra forte, par exemple 10 atmosphères, une partie des fissures minces *C* et *D* et les fissures capillaires *F* seront déjà masquées à leur entrée, et le lait de ciment ne s'y infiltrera plus. Autrement dit, pendant la période des basses pressions, le lait de ciment, en voyageant dans le sondage, y fait un certain colmatage des parois ; quand alors apparaissent les hautes pressions, l'accès aux fissures minces est obstrué.

Lorsque la durée de l'injection dépasse 2 heures (2), commencement de la prise du ciment, l'inconvénient devient plus grand, et de plus on s'expose à remuer, sous l'action de la pression, du ciment déjà déposé, lequel alors ne fera plus prise.

En résumé, il est bien connu que : *l'injection de ciment doit se faire à la plus haute pression possible.*

Nous y ajouterons cette autre règle, nouvelle, que : *la haute pression doit s'établir dans le sondage le plus rapidement possible, sinon son efficacité sera réduite.*

Or, pour obtenir vite une haute pression, il ne faut pas que le lait de ciment trouve dans le terrain de nombreux débouchés, c'est-à-dire de nombreuses fissures *à la fois*.

(1) J. LOMBOIS, *loc. cit.*, p. 144. — Le ciment sous faible pression s'étend à plus de 50 mètres.

(2) A Anzin, la cimentation a duré 45 heures sans arrêt (M. SAULIER, *loc. cit.*, p. 366). A Mancieulles (Meurthe-et-Moselle), la cimentation a duré 72 heures.

Ceci nous amène à ne cimenter qu'une fissure à la fois : c'est ce que nous avons appelé plus haut *la cimentation méthodique*.

Il est facile d'appliquer cette cimentation méthodique, même en partant de la surface.

On sait que dans un sondage à courant d'eau, le manomètre de l'eau d'injection marque toujours une certaine pression qui dépend de la profondeur du sondage, des diamètres des tiges et du trou, du volume d'eau qui circule.

Sitôt que l'outil de sonde rencontre une fissure du terrain, ce manomètre indique une variation brusque, généralement une chute de pression.

Il faut alors, de suite, injecter dans cette fissure du lait de ciment sous haute pression de 10, 15 ou 20 atmosphères.

Ce travail méthodique est la caractéristique du procédé Brejcha employé à Kreuzwald.

Pour l'appliquer pratiquement en partant de la surface, il faut un matériel approprié, dont nous allons parler ci-après.

#### IV. — Manière d'appliquer la cimentation méthodique.

##### a) POUR FAIBLES PROFONDEURS.

Par exemple jusque 100 mètres, le procédé n'a rien de spécial.

Sitôt qu'un sondage touche une fissure indiquée au manomètre, on retire les tiges, on envoie l'appareil de sondage travailler à un trou voisin, tandis qu'on envoie du ciment dans le premier trou.

Le lait de ciment est foulé, soit par une pompe, soit par de l'air comprimé, soit par l'intermédiaire d'eau sous pression.

Il suffit donc pour cela d'avoir des appareils de sondage légers et transportables.

Rappelons ici incidemment qu'aux faibles profondeurs on ne peut généralement pas réaliser de fortes pressions parce qu'il s'établit des communications entre les fissures et la surface.

##### b) POUR GRANDES PROFONDEURS.

Sitôt que la profondeur dépasse 150 mètres, le mode de travail précédent devient peu praticable. En effet :

Pour retirer 150 mètres de tiges de sonde, il faut environ une demi-heure ; cette manœuvre ne peut donc se renouveler fréquemment.

D'autre part, remarquons qu'un sondage de 150 millimètres de diamètre, et 150 mètres de profondeur, a déjà une capacité de 2 1/2 mètres cubes, c'est-à-dire qu'il faudrait fouler 2 1/2 mètres cubes de lait de ciment avant d'atteindre la fissure.

Le travail serait trop lent, et, à la fin de l'opération, il demeurerait trop de ciment dans le trou.

Il faut donc, pour amener vite le ciment à destination, l'envoyer à travers un tuyau ; en pratique, le tuyau sera la tige de sonde elle-même (fig. 2.)

La tête des tiges et la tête du trou de sonde sont donc

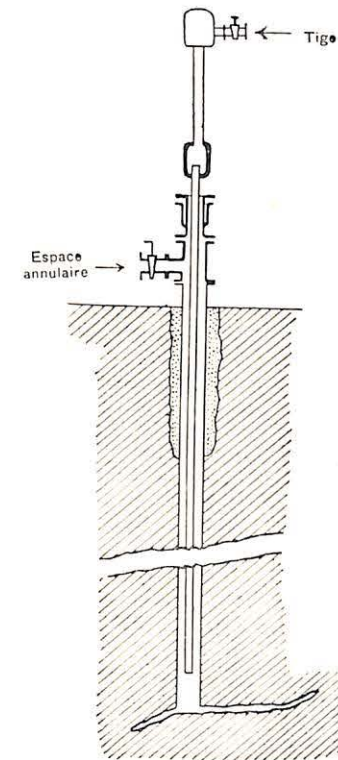


Fig. 2.

fermés tous deux par des robinets ou soupapes, ce qui permet :

1° d'envoyer dans le sondage de l'eau ou du lait de ciment ; de diriger ces liquides comme courant direct ou comme courant renversé, ou même dans les deux directions à la fois, comme expliqué ci-après ;

2° de maintenir dans le trou une pression réglable à volonté. Les deux soupapes disposées à cette fin, sont caractéristiques des appareils de sondage de M. Brejcha, lesquels permettent d'effectuer avec grande rapidité les manœuvres ci-dessus. Il est vrai que l'injection du ciment par la tige de sonde apporte avec elle le danger bien connu de caler les tiges et l'outil dans le trou.

Cependant, on sait aussi que, quand on conserve aux tiges, pendant la cimentation, un léger mouvement, ce danger de coinçage s'atténue.

Mais à Kreuzwald, nous avons vu employer un artifice qui écarte définitivement ce danger. En même temps que du ciment est foulé dans la tige, on foule un peu d'eau claire par l'espace annulaire. Ce peu d'eau claire suffit pour empêcher le ciment de remonter à côté de l'outil et de produire un coinçage. Mais pour fouler ce filet d'eau claire, il faut avoir à disposition de l'eau sous 20 atmosphères de pression et un compteur ou indicateur permettant de contrôler son débit.

Si la tige de sonde, par exemple, a 60 millimètres intérieur et 150 mètres de long, elle aura 300 litres de capacité, et il sera facile, à la fin de l'opération, de fouler dans la tige même 300 litres d'eau pour envoyer tout le ciment dans le terrain.

#### LA PRESSION MEURT DANS LE TERRAIN.

De nombreuses expériences faites à Kreuzwald dans le grès des Vosges, ont montré que, après l'opération de

cimentation, la pression d'injection ne demeure pas à l'état statique dans le sondage, ni dans le terrain, c'est-à-dire que les fissures ne rendent pas leur ciment quand la pression tombe, ou encore que la réaction des terrains n'est pas élastique. Cependant, le cas contraire s'est présenté une fois à Kreuzwald.

Nous avons attribué ce dernier phénomène à une fissure d'une assez grande superficie horizontale, dans laquelle le lait de ciment sous pression a soulevé le terrain ; alors, sitôt la pression supprimée, le terrain retombe, la cavité perd du volume, et le ciment pâteux est refoulé dans le sondage.

Il est évident que dans pareil cas, il faut emprisonner la pression dans le trou à la fin de l'injection, en fermant les deux soupapes, ce qui rend impossible le retrait des tiges de sondage.

Par conséquent, l'injection de ciment par la tige de sondage, n'est pas praticable quand une fissure a tendance à refouler le lait de ciment ; elle n'est pas applicable non plus, pour la même raison, lorsque les sources recoupées dans le sondage sont jaillissantes.

Il faut alors appliquer la méthode *a*, comme en faible profondeur.

Mais la pratique montre que, dans ces deux cas, les volumes de ciment à injecter étant très grands, l'opération est importante, et l'inconvénient de remonter les tiges et de remplir le trou de sonde de ciment est amoindri.

Par contre, dans le cas très général où les fissures ne refoulent pas le ciment, on peut, sitôt après une injection de ciment, continuer le travail de sondage, lequel est donc à peine interrompu par le travail de cimentation méthodique.

## V. — Examen préalable de chaque fissure.

Nous avons dit plus haut que l'injection de ciment doit être menée rapidement. Or, la densité de lait de ciment à employer peut varier en pratique de 3 % à 20 % suivant l'ouverture des fissures à obturer.

En employant toujours du lait de ciment à 3 %, les opérations deviennent longues et fastidieuses, et durent très souvent au delà de deux heures, durée du commencement de la prise du ciment.

En employant uniformément du lait à 20 % et même plus, ce qui est toujours la tendance des ouvriers sondeurs, on obtient, en apparence, un résultat rapide et efficace. Mais ce ciment ne pénètre pas dans les fissures minces et c'est là un grave défaut que l'on constatera seulement pendant le creusement du puits, en trouvant des fissures non obturées. Ce cas s'est présenté maintes fois à Kreuzwald, dans la période des débuts.

Pour pouvoir envoyer du ciment léger dans les fissures étroites, et du ciment dense dans les fissures ouvertes, il faut pouvoir contrôler au préalable leur ouverture, c'est-à-dire les ausculter en y foulant de l'eau claire, et en mesurant la pression nécessaire pour y introduire un volume d'eau déterminé, par exemple 100 litres à la minute.

Pareilles mesures exigent naturellement la détermination des constantes de l'appareil de sondage en tenant compte du diamètre des tiges et de la profondeur.

Ces mesures n'ont d'ailleurs qu'une valeur relative et indiquent seulement avec certitude, si dans un même sondage, la fissure à cimenter a plus ou moins d'ouverture que les fissures déjà cimentées et dont on a pu constater la capacité.

## VI. — Précautions contre les dépôts de boues dans les fissures à cimenter.

Les ingénieurs français ont montré clairement que les boues produites par le travail de sondage, ont une tendance à aller colmater les fissures et empêchent alors le ciment d'y faire prise.

Les diverses dispositions qu'ils ont adoptées (1) pour exécuter leurs sondages sans courant d'eau ou pour laver les fissures par pompage, paraissent convenables pour de faibles profondeurs.

Mais ces palliatifs ne peuvent pas s'appliquer à grande profondeur, au delà de 100 mètres, parce qu'alors ils deviennent lents, coûteux et inefficaces.

Dans le cas des grandes profondeurs, il faut appliquer les principes suivants, comme on l'a fait à Kreuzwald :

- « Faire des sondages à très petits diamètres pour produire peu de boues ;
- » Forer le plus possible à la couronne, qui donne des boues plus légères et moins abondantes que le trépan ;
- » Travailler à courant d'eau renversé ;
- » Injecter méthodiquement du ciment dans chaque fissure sitôt qu'elle est rencontrée par la sonde. »

Examinons le bien fondé de ces principes :

Un sondage ordinaire, au trépan, avec tubage à 180 millimètres de diamètre, mesure par mètre courant un volume de  $0.18^2 \times \frac{\pi}{4} = 25$  décimètres cubes de roche, produisant avec un foisonnement 1.5, un volume de boues de 37.5 litres.

D'autre part, un sondage de 80 millimètres foré à la couronne avec parois cimentées, non tubé, et donnant des

(1) M. SACLIÉ, *loc. cit.*, p. 356.  
J. LOMBOIS, *loc. cit.*, p. 132.

carottes de 60 millimètres, produit seulement par mètre courant un volume de boues de

$$\overline{0.08}^2 - \overline{0.06}^2 \times \frac{\pi}{4} \times 1.5 = 3.3 \text{ litres.}$$

Ces sondages, pratiqués à Kreuzwald, donnent donc onze fois moins de boues qu'un sondage ordinaire au trépan.

Le danger des boues devient donc onze fois moindre.

De plus, les boues produites par rodage étant ténues, le courant d'eau ascensionnel les entraîne facilement au moment même où elles prennent naissance.

Avec le trépan, au contraire, il se produit de gros fragments, des remous dans l'eau, et des chocs pouvant fouler mécaniquement les débris de roche dans les fissures.

Quant à l'influence favorable du courant d'eau renversé, elle apparait clairement dans les figures 3, 4 et 5 : on y voit

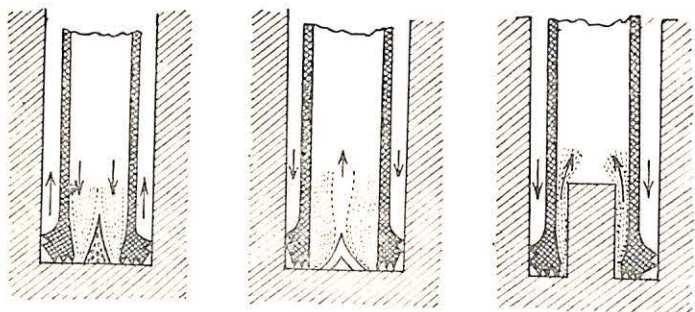


Fig. 3.

Courant direct, pression sur le fond.

Fig. 4.

Courant renversé, succion sur le fond.

Fig. 5.

Courant renversé avec carotte.

que le courant exerce au fond du trou une action de succion, toute relative, il est vrai, et que, par contre, le courant direct a plus de tendance à éparpiller les boues.

La facilité d'ascension des boues dans la tige frappe vivement le spectateur qui voit les carottes de sondage sortir de la tige, au cours du travail, comme des projectiles.

Il est bien vrai, toutefois, que le courant d'eau, quel qu'il soit, crée une notable pression d'eau au fond du trou. Cette pression est celle nécessaire pour vaincre la résistance de frottement que rencontre le courant ascensionnel.

Cette résistance, proportionnelle aux surfaces des parois de la conduite, est environ trois fois plus grande dans l'espace annulaire que dans les tiges.

Par exemple, si la pompe de circulation du sondage développe 4 atmosphères, il y aura environ 3 atmosphères absorbées dans l'espace annulaire, et 1 atmosphère absorbée dans la tige de sondage.

Donc, dans ce cas, avec courant renversé, il y aura 1 atmosphère de surpression au fond du trou, tandis que, avec courant direct, il y aurait 3 atmosphères. C'est-à-dire que le courant renversé introduira dans le terrain trois fois moins de boues que le courant direct.

Cependant, les sondeurs savent bien que le courant renversé est dangereux, parce qu'il provoque dans le sondage des éboulements, et par suite des coincages de tiges. Or, c'est précisément la cimentation méthodique des fissures qui, amenant fréquemment dans le trou la présence de ciment sous haute pression de 15 à 20 atmosphères fait de ce trou un véritable tube de béton comprimé, à l'épreuve des éboulements. Il n'y demeure non plus jamais de fissures ouvertes dans lesquelles pourraient s'introduire des boues.

Les trois particularités de la méthode de cimentation appliquée à Kreuzwald, sont donc :

- Trous de petit diamètre, sans tubage;
- Sondage à courant renversé ;
- Cimentation méthodique.

Ces trois particularités se complètent l'une l'autre et forment un ensemble caractéristique du procédé de cimentation de la Société Belge de Forage et d'Entreprises Minières à Bruxelles.

VII. — Creusement du puits simultanément avec la cimentation des terrains.

Les Sociétés minières qui doivent creuser des puits profonds, ont souvent pour objectif principal de gagner du temps.

À ce point de vue, les méthodes qui consistaient à creuser d'abord une couronne de sondages et puis à les cimenter avant d'entamer le creusement du puits, devenaient fort lentes à grandes profondeurs.

Mais avec la cimentation méthodique, effectuée par des appareils légers et transportables, on peut laisser la section du puits libre de tout ce matériel de sondage et activer le creusement en même temps que les autres travaux.

Cette simultanéité est une conséquence directe de la cimentation méthodique. Il faut, en effet, pour cela, que le travail de cimentation de tout le terrain descende progressivement, à quelque 15 ou 20 mètres en avance du fonçage, pour que le travail de creusement s'exécute toujours dans du terrain déjà bien monolithé.

La figure 6 montre une disposition de chantier de creusement simultané (1).

Cette disposition n'a été appliquée qu'imparfaitement à Kreuzwald, parce que la tour de fonçage n'avait pas été prévue pour cela.

VIII. — Le puits « Uhry » en fonçage aux mines de la Houve, à Kreuzwald (Lorraine).

Ce puits, où la cimentation méthodique est actuellement appliquée avec fonçage simultané du puits, doit traverser environ 200 mètres de morts-terrains, composé de grès vosgien et de Permien.

(1) La cimentation avec creusement simultané est brevetée par la Société anonyme belge de forage et d'entreprises minières, à Bruxelles.

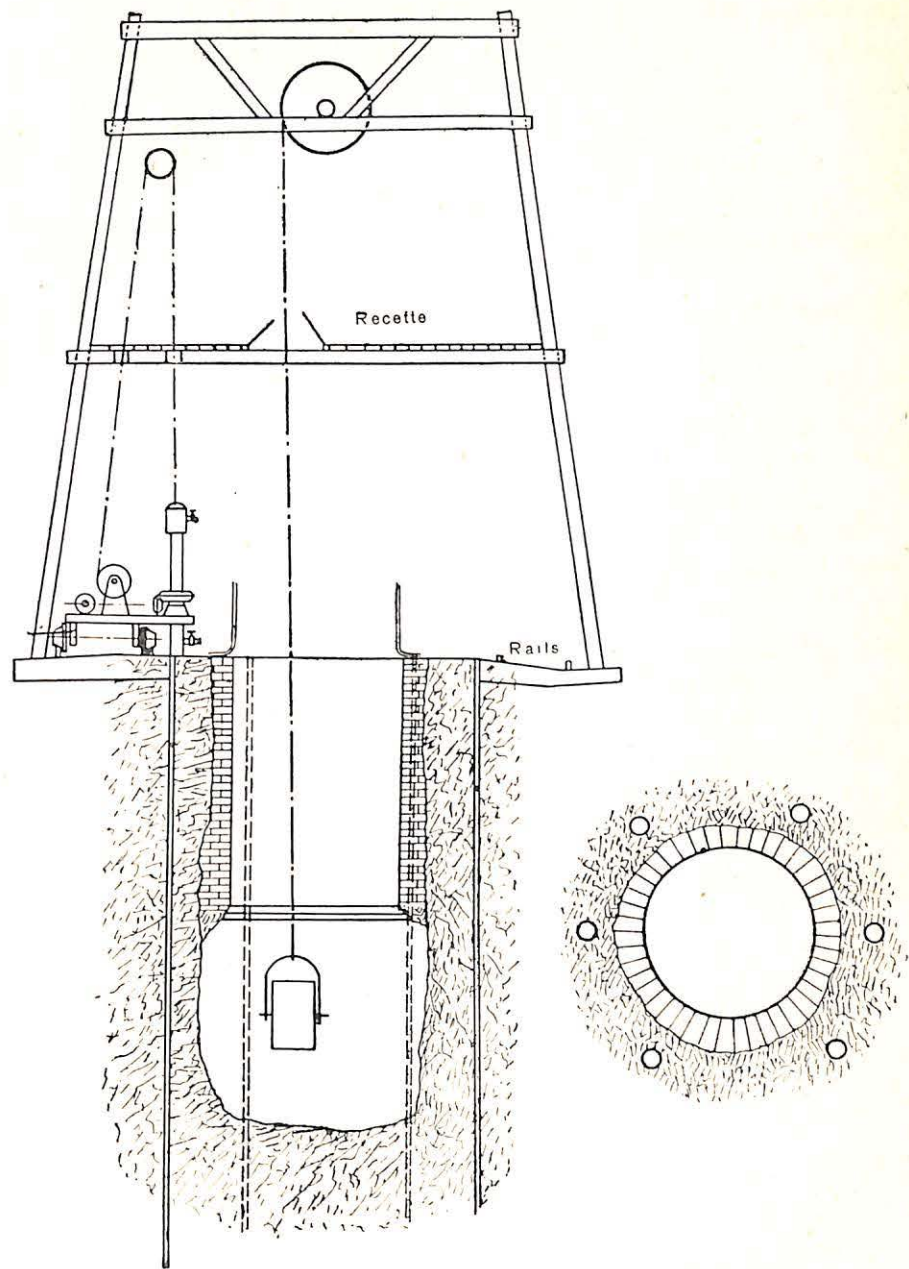


Fig. 6. — Creusement simultané avec cimentation.



Les deux anciens puits de cette mine ont eu à lutter autrefois avec des difficultés et des épuisements considérables (1).

Le premier, puits « Marie », épuisait déjà à la profondeur de 48 mètres plus de 8,000 litres par minute; il fut continué par le procédé Kind-Chaudron.

Le deuxième, puits « Julius », fut creusé au Kind-Chaudron jusque 103 mètres. Alors survint encore une venue de 6,000 litres à l'heure, sortant de dessous la boîte à mousse. Il en résulta des difficultés qui ne furent surmontées qu'après trois ans (1900 - 1904), par l'épuisement Tomson.

Quand la direction de la Houve étudia le fonçage du nouveau puits « Uhry », elle savait bien que les eaux du grès vosgien formaient des courants souterrains qui rendaient incertaine l'application éventuelle de la congélation.

Elle résolut donc d'essayer la cimentation, sans se dissimuler toutefois les difficultés spéciales qui résulteraient de la constitution poreuse et friable du grès vosgien et aussi des innombrables fissures capillaires qui s'y trouvaient.

Les premiers essais, avec du mortier de ciment à 30 %, donnèrent un résultat insuffisant, vu qu'à 30 mètres de profondeur, la venue d'eau dépassait déjà 1,000 litres par minute.

On poursuivit donc la cimentation avec un lait de ciment à 5 % et 12 kilos de pression à la pompe.

Les résultats furent beaucoup meilleurs.

Jusqu'à la profondeur de 50 mètres (10 mai 1910), la venue d'eau ne dépassa plus 1,000 litres par minute, aux endroits où le puits « Marie » en donnait plus de 8000.

Au 20 juin 1910, le creusement avait atteint 65 mètres, toujours avec 1,000 litres d'eau, tandis que les trous de cimentation étaient à près de 120 mètres.

(1) Bergassessor VEEWETZER, *Gluckauf*, 1906, no 25.

Actuellement, les avancements du puits Uhry ne sont pas rapides. Pour les apprécier, il faut tenir compte de diverses circonstances défavorables :

Les douze trous de sonde disposés autour du puits sont distants de la paroi de 0<sup>m</sup>90 seulement; pour ne pas souffrir des coups de mines, ils devraient en être écartés d'au moins 1<sup>m</sup>50, distance que la tour de fonçage ne permettait pas de réaliser.

La tour de fonçage n'est pas installée pour creusement et cimentation simultanés.

Cette tour n'est pas prévue non plus pour la manœuvre des pompes d'avaleresse Schwade qui y sont en service.

La pompe à ciment et à eau, avec ses accessoires, n'est pas d'une force suffisante pour la cimentation parfaite.

Les pompes Schwade souffrent beaucoup de la nature sablonneuse des eaux et font souvent défaut.

A part ces inconvénients, dûs au matériel, la méthode de cimentation appliquée à Kreuzwald paraît appropriée aux conditions présentées par les morts-terrains.

La différence considérable entre le travail de Kreuzwald et celui de Victoria apporte dans la présente discussion un élément intéressant.