

113-190

# NOTES DIVERSES

## LE PROCÉDÉ STOCKFISCH

POUR LE

## CREUSEMENT DES PUIITS

et son application au siège II de la Gewerkschaft Diergardt

par M. le Bergassessor KRECKE, d'Essen (1)

Parmi les procédés par forage connus jusqu'à ce jour pour le creusement de puits, seul le procédé Kind-Chaudron a acquis une grande importance pratique. On ne peut cependant l'employer que dans des terrains compacts. Pour la traversée des couches des formations plus récentes, non encore pétrifiées, comme le sont surtout les morts-terrains quaternaires et tertiaires du Rhin inférieur et du bassin d'Aix-la-Chapelle, on avait donc dû recourir au procédé de creusement par revêtement descendant ou au procédé par congélation. De plus, Honigmann a plusieurs fois essayé, avec un succès partiel, de traverser par forage des morts-terrains récents. L'application de son procédé exige cependant des morts-terrains tout-à-fait tendres ainsi que des circonstances favorables du niveau de la nappe aquifère.

Depuis quelque temps, l'industrie houillère s'est implantée dans des régions où, par suite de l'épaisseur des morts-terrains, épaisseur atteignant plusieurs centaines de mètres, il n'est plus possible de se contenter, pour le creusement des puits, des procédés connus et employés avec succès précédemment (procédés Pattberg, Sassenberg-Clermont, etc.); et l'emploi du procédé par congélation entraîne des frais très élevés. D'autre part, dans d'autres cas, l'existence d'eaux souterraines salées rendait aléatoire l'emploi de ce dernier procédé et exigeait comme complément, la congélation à froid intense, moyen qui augmente encore considérablement les frais de fonçage ainsi que la durée des travaux et qui, en présence d'eaux très fortement salées, surtout dans le gypse, bien connu comme mauvais conducteur de chaleur, doit encore démontrer sa parfaite efficacité. Pas plus que le procédé Kind-Chaudron, le procédé par cimentation, devenu très en

(1) *Glückauf*, no 14 du 6 avril 1912. — Traduction de G. W.

vogue dans ces derniers temps, n'est applicable dans des morts-terrains non solidifiés; même, dans des formations plus anciennes, son emploi est restreint par le fait que sa réussite dépend de la nature des roches et des circonstances tectoniques.

Le procédé Stockfisch a pour but d'éviter les inconvénients reprochés aux procédés ci-dessus. Il serait applicable aussi bien dans les terrains modernes que dans les terrains anciens et en dépit des plus fortes venues d'eau ou de solutions salées, à condition que le diamètre du puits ne doive pas être grand. Il fut employé pour la première fois en 1911 pour le creusement du puits Diergardt II, près de Hochemmerig, dans le Rhin inférieur. Actuellement, il est employé au fonçage du puits Hannover, près de Diderse, dans la province de Hannover. Au puits Diergardt II, il y avait à traverser environ 90 mètres des morts-terrains bien connus quaternaires et tertiaires du bassin bas-rhénan; au puits Hannover, il faut traverser également environ 90 mètres de sables, graviers et d'argiles meubles et, de 90 mètres jusqu'au gisement de sel gemme, c'est-à-dire jusqu'environ 155 mètres, du gypse imprégné d'eaux salées.

Le procédé Stockfisch est un procédé de forage par battage avec injection. Le forage s'opère par tiges rigides, avec emploi, dans le puits, d'un liquide de forte densité qui suffit à maintenir efficacement les sables bouillants et autres terrains ayant des tendances à l'éboulement, quelles que soient les circonstances dans lesquelles ces terrains sont rencontrés, et à n'importe quelle profondeur; de la sorte, il n'est pas nécessaire de tuber ou de maintenir d'une autre façon les parois du puits creusé, jusqu'à ce que la profondeur finale soit atteinte et que le cuvelage puisse être descendu. Une fois le puits creusé et le cuvelage descendu, on rend celui-ci étanche en employant une injection de liquide dense qui, cette fois, est refoulé, entre le cuvelage et les parois du puits; ce liquide sera progressivement saturé de lait de ciment, de telle façon que la masse injectée se transforme en béton lors de l'arrêt de l'injection.

#### Installations et appareils.

Les installations et appareils nécessaires pour le fonçage par le procédé qui nous occupe correspondent aux installations et appareils requis pour un sondage au trépan de fort diamètre et à circulation d'eau, à grande profondeur; elles comprennent une tour de sondage, avec, tout près, la chambre des machines et le magasin des tiges de trépan, des installations de transport, de forage et de circulation d'eau,

une installation de filtrage et de décantation d'eau, ainsi que les appareils nécessaires à la production de la vapeur et de l'air comprimé.

Les dimensions à donner à la tour de fonçage dépendent du diamètre et de la profondeur du puits à foncer. A Diergardt II, où, comme nous l'avons dit, il y avait à traverser une épaisseur de 90 mètres et où le puits devait avoir un diamètre final de 3 mètres, la hauteur de la tour, jusqu'à l'axe des molettes était de 22 mètres et la surface couverte était de 10 m.  $\times$  10 m. soit 100 mètres carrés. D'ailleurs, on donne toujours à la tour des dimensions telles qu'elle puisse, une fois le fonçage terminé et le cuvelage placé, être utilisée, sans modifications spéciales à l'approfondissement du puits.

Les dimensions du magasin des tiges, qui se trouve immédiatement contre la tour, dépendent de la profondeur du puits à foncer et doivent être telles que toutes les tiges puissent y trouver place, avec et sans leur flotteur de décharge (1). Au puits Diergardt II, ces dimensions suffisaient amplement au montage des 120 mètres de tiges existants. Entre la tour et le magasin des tiges circule un pont roulant assurant le transport rapide et aisé des lourdes tiges.

Contre la tour se trouve la chambre des machines contenant un treuil avec câble d'une résistance de 30 tonnes, un compresseur d'air et les pompes pour l'injection de l'eau.

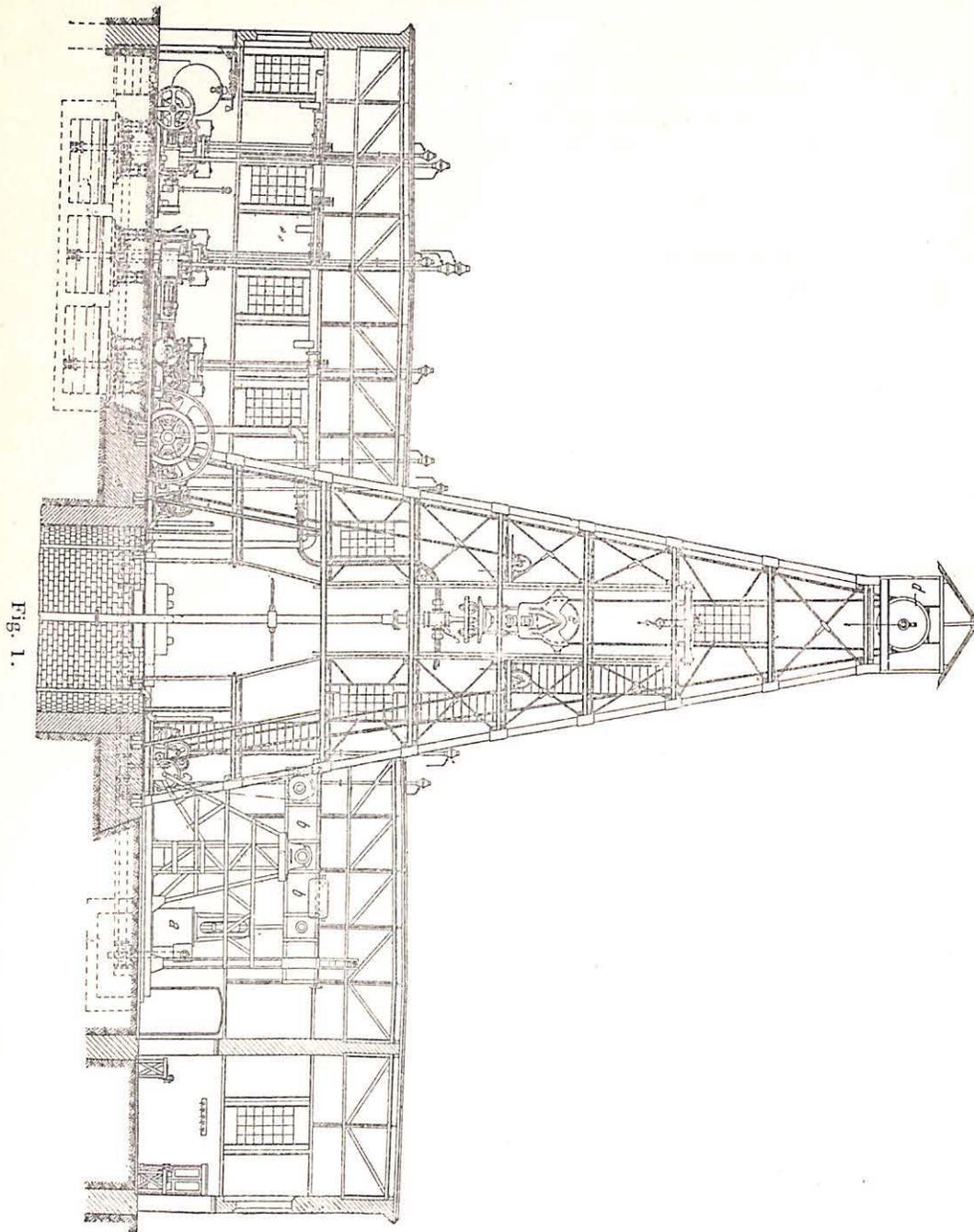
En face de la chambre des machines, et de l'autre côté de la tour, se trouve la charpente destinée à recevoir le cylindre batteur et le levier basculant. Cette chambre est suivie de l'atelier de réparations.

Au puits Diergardt II, il était superflu d'installer des bâtiments spéciaux pour les chaudières, attendu qu'on se servait d'une chaudière locomobile ayant une surface de chauffe de 116 mètres carrés. Cette chaudière suffisait amplement à fournir de vapeur toutes les machines.

L'installation de forage proprement dite comprend l'appareil de frappe, la suspension des tiges et les outils de forage. La commande de l'appareil de frappe se fait par le cylindre de frappe  $\alpha$ , placé verticalement (voir fig. 1), par l'intermédiaire d'une bielle. Le cylindre, qui est pourvu d'un changement de marche automatique, a 875 millimètres de diamètre et une course réglable pouvant atteindre 600 millimètres. La bielle transmet le mouvement au

(1) Pour diminuer le poids à soulever, on peut, comme on le verra plus loin, entourer les tiges d'un revêtement léger déplaçant un grand volume d'eau.

(N. de la R.)



levier *b*, suspendu en son milieu; ce levier, de même que l'échafaudage qui le supporte, est construit solidement, en fer. Pour pouvoir faire travailler les tiges et le trépan bien verticalement, la transmission du mouvement du levier ne se fait pas directement, mais par l'intermédiaire d'un câble s'enroulant sur un système de poulies. Le câble (d'un diamètre de 60 millimètres) qui est fixé au levier, passe d'abord sur la poulie *c* établie sur les fondations, de là, il passe par la poulie *d* logée en haut de la tour et arrive à la poulie *e* pourvue de flasques, suspendue librement et portant la tête de sonde. Le câble revient de là à une deuxième poulie fixe qui n'est pas visible sur la figure 1 et, finalement, arrive au tambour du câble de 30 tonnes placé dans la chambre des machines. Aux flasques de la poulie libre *e* sont fixés latéralement deux galets-guides roulant sur des rails fixes; on évite ainsi un mouvement latéral de la poulie pendant le travail de forage. Ce dispositif a également pour effet d'empêcher que, lors du déplacement du trépan par la manœuvre du tourne-à-gauche, au cas où le pivot de la tête de sonde n'obéirait pas de suite au mouvement de rotation, la poulie du câble ne vienne à suivre ce mouvement, ce qui déterminerait un entortillement du câble. En dessous des flasques vient s'attacher, par une connexion articulée, la tête de sonde qui, elle-même, se trouve reliée aux tiges par une connexion élastique. Le support de la tige dans la tête de sonde forme une coquille en deux parties reposant sur un plateau à billes. L'extrémité supérieure de la tige est arrangée pour servir de tête à l'appareil d'injection d'eau. Les dimensions de la connexion élastique doivent être telles que l'élasticité de la suspension augmente la course du cylindre d'environ 50 millimètres. La course de la tige est donc au maximum de  $\frac{600}{2} + 50 = 350$  millimètres.

La tige est formée par des tubes en acier Siemens-Martin de première qualité, ayant chacun 10 mètres de long, 273 millimètres de diamètre extérieur et 243 millimètres de diamètre intérieur. Les tubes sont réunis par leurs brides à l'aide de douze boulons avec sûreté, en acier au nickel. Le trépan est réuni à la tige par une bride d'une construction particulièrement robuste et munie de 20 boulons.

Les figures 2 et 3 montrent la construction du trépan. Pour sa construction, on s'est basé sur ce qu'il doit satisfaire aux exigences suivantes : Il doit être impossible que le trépan se mette de côté, quel que soit l'accident qui se produise au cours du travail, par exemple

un bris de la tige; c'est pour cela qu'on a adopté la forme à trois ailes. Les dimensions du trépan qui, pour un diamètre de 3<sup>m</sup>70, a une hauteur de 3 mètres et un poids d'environ 24 tonnes, n'ont pas permis, à cause des difficultés de construction et de transport, de le faire en une pièce; il est donc constitué par quatre pièces assemblées. La forme adoptée pour le trépan dicta le nombre de quatre pièces et leur division, savoir corps central et trois bras. Le corps central est construit de façon à pouvoir être utilisé seul comme outil de forage préparatoire. La liaison des branches au corps central se fait, sur les

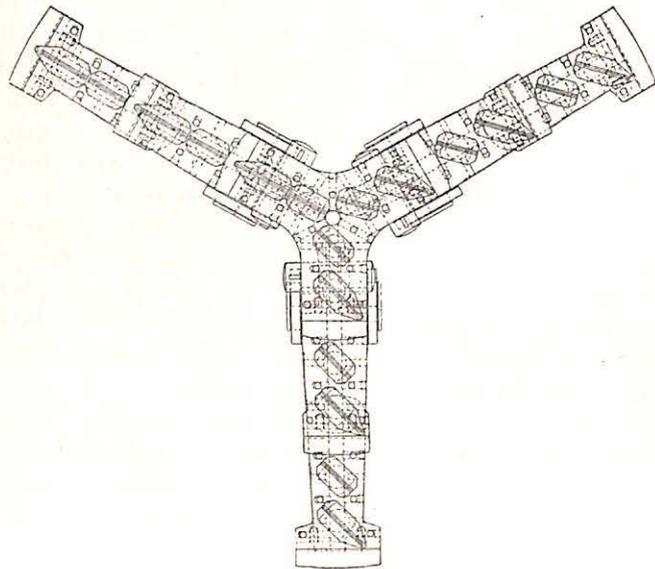


Fig. 2.

lieux même; les pièces sont reliées par saillies et rainures au moyen des frettes *a* et des clavettes *b*. Les boulons *c*, boulons prisonniers, renforcent la fixation et ont pour effet que, à chaque montage, les branches se placent toujours dans la même position entr'elles et relativement au corps central.

La division du courant d'eau, qui entre dans le trépan par la tige, est assurée par un système de canaux d'injection *d* (voir fig. 3) qui le distribue aux canaux de sortie *e*. Ceux-ci sont disposés de telle sorte que le courant est réparti également sur toute la surface du

fonds du puits; l'effet est ainsi partout de même intensité. On a renoncé à faire passer le courant à travers l'outil de forage lui-même, le tranchant du trépan, afin d'éviter l'obstruction des trous d'injection qui se produit souvent dans la traversée des terrains tendres et gras — comme par exemple l'argile.

Les tranchants du trépan sont répartis sur le corps principal et

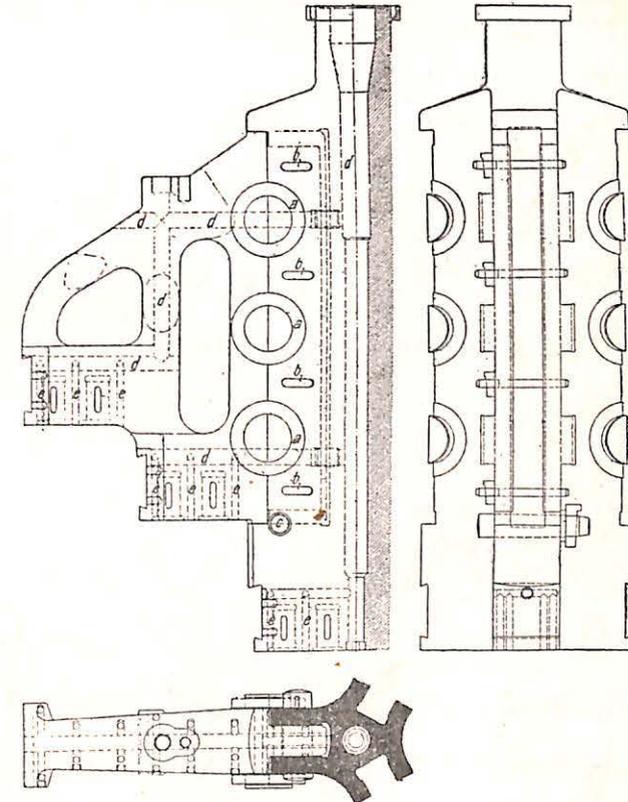


Fig. 3.

sur les trois bras en trois groupes superposés (voir fig. 3) de sorte que le fond est attaqué à trois niveaux différents. A l'intérieur de ces trois gradins, les couteaux sont disposés en face l'un de l'autre pour obtenir le travail le plus efficace de la fouille comme le montre la figure 2. L'usure des couteaux dans le mouvement en avant est

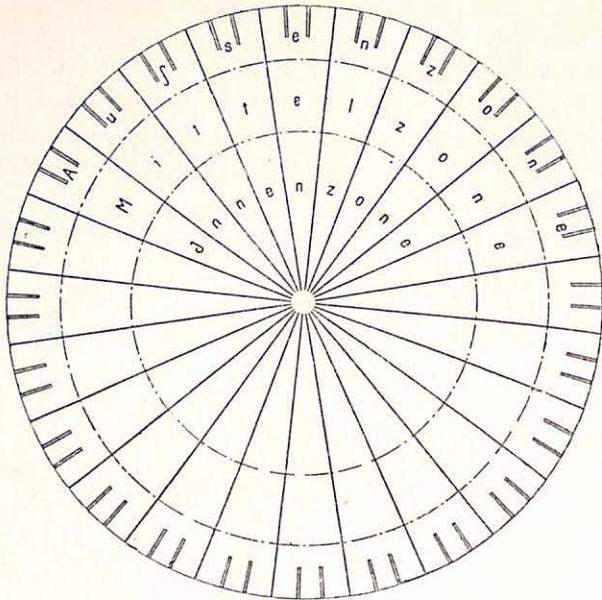


Fig. 4. — Diagramme de frappe du trépan Haniel et Lueg.

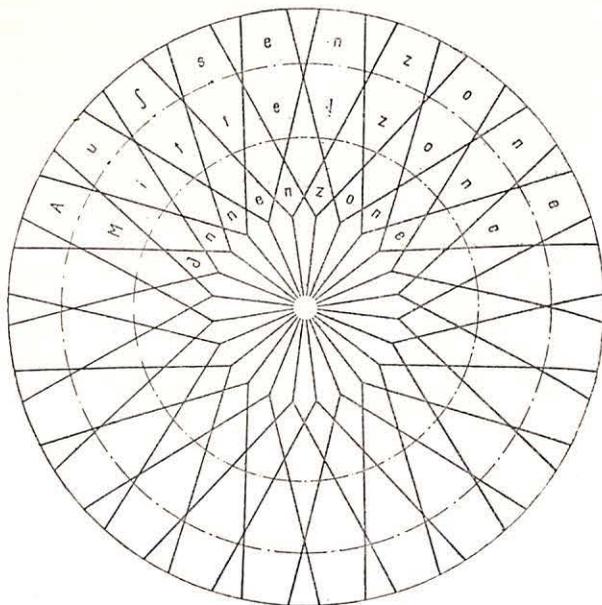


Fig. 5. — Diagramme de frappe du trépan Lippmann.

naturellement plus grande que dans le mouvement en arrière. Comme la suspension des tiges permet une rotation du trépan à droite et à gauche, on obtient, en renversant le sens de rotation, une usure égale de tous les couteaux.

La forme que Stockfisch a donnée à son trépan, ainsi que la disposition des couteaux constituent, à n'en pas douter, de grands progrès au point de vue de la construction des grands trépons de puits; ces perfectionnements permettent, en effet, un travail plus complet du fond du puits que celui donné par les dispositifs antérieurs. Ce fait

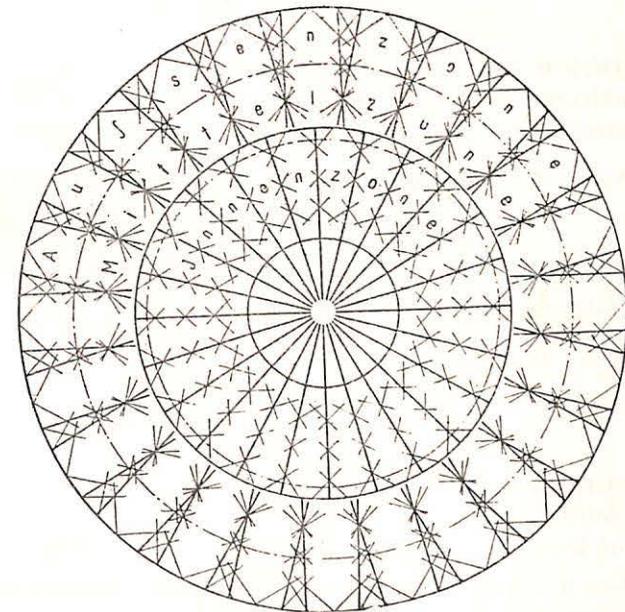


Fig. 6. — Diagramme de frappe du trépan Stockfisch.

est surtout mis en lumière quand on considère les diagrammes de frappe des figures 4, 5 et 6. Dans les trois exemples donnés (trépons Haniel & Lueg, Lippmann et Stockfisch), la surface travaillée, identique, est divisée en trois zones circulaires concentriques de même surface, afin de montrer quelle est, dans chaque zone, l'action de frappe. La fouille du puits est donc divisée en zone extérieure, zone médiane et zone intérieure. Pour pouvoir comparer l'effet des trois trépons, on a admis que, dans les trois cas, le trépan faisait une rotation complète en donnant 24 coups également espacés; en d'autres termes,

on travaille avec un angle de déplacement de  $15^\circ$  au tourne-à-gauche à chaque coup. Dans les figures, les lignes grasses représentent les lignes où le trépan a touché le sol, tandis que les cercles pointillés délimitent les zones d'égale surface citées ci-dessus. Le tableau ci-dessous donne l'addition en mètres de toutes ces lignes de contact; c'est la « longueur de coupe » pour chaque trépan; il indique de plus, le nombre de fois que chaque ligne primitive est recoupée dans une révolution de  $360^\circ$ , c'est donc le « nombre de croisements ».

*Trépan Haniel & Lueg* (voir fig. 4)

	Longueur de coupe.	Nombre de croisements.
Zone extérieure . . . .	33.60 mètres	0
Zone médiane. . . . .	14.40 »	0
Zone intérieure . . . .	33.30 »	0

*Trépan Kind-Chaudron, système Lippmann* (voir fig. 5)

	Longueur de coupe.	Nombre de croisements.
Zone extérieure . . . .	21.60 mètres	0
Zone médiane. . . . .	28.80 »	24
Zone intérieure . . . .	51.00 »	72

*Trépan Stockfish* (voir fig. 6)

	Longueur de coupe.	Nombre de croisements.
Zone extérieure . . . .	84 mètres	168
Zone médiane. . . . .	80 »	95
Zone intérieure . . . .	72 »	120

L'efficacité de trépan de même poids et même hauteur de chute étant naturellement proportionnelle à leur longueur de coupe et au nombre de croisements, il en résulte qu'indubitablement, des trois trépan examinés, celui de Stockfish est le plus rationnellement construit.

Les machines d'extraction appartenant à l'installation de fonçage sont réparties en une machine principale et plusieurs machines de secours. L'installation principale comprend un treuil à vapeur de 30 tonnes servant à faire monter et descendre les tiges de fonçage, à exécuter les grosses manœuvres et à placer le cuvelage en fonte.

Pendant le travail du fonçage, le treuil doit pouvoir laisser descendre les tiges au fur et à mesure de l'avancement du

travail, sans interrompre le fonçage. On a résolu le problème en adoptant le dispositif déjà décrit : une des extrémités du câble passe sur le tambour du treuil à vapeur et s'y enroule d'une quantité suffisante pour permettre aux tiges de descendre de la longueur d'un tube. En renversant la marche du treuil, on peut, en cas d'accident survenant dans le puits ou au fond de celui-ci, soulever et démonter immédiatement trépan et tige de sorte que, moyennant une surveillance quelque peu plus attentive du travail, il est difficile que le

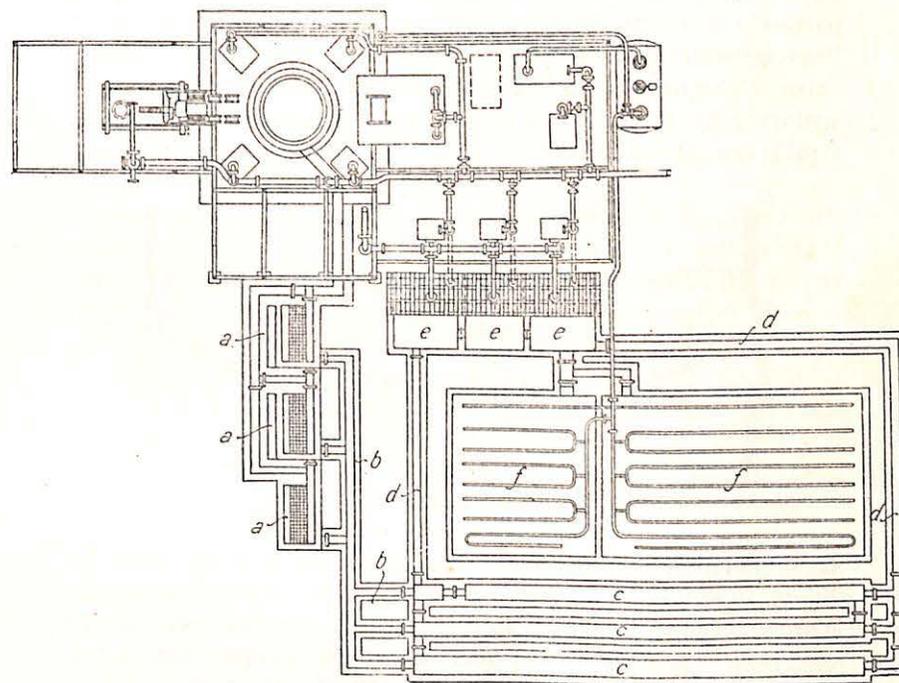


Fig. 7.

trépan se coince au fond du puits. On évite ainsi de devoir retirer le levier de battage, opération demandant beaucoup de temps, — avant de pouvoir relever les tiges; on évite aussi l'établissement de dispositifs spéciaux de descente des tiges.

Les machines auxiliaires consistent en quatre treuils à vapeur de 5 tonnes placés aux quatre coins de la tour de fonçage. Ces treuils servent à descendre et à relever les tiges auxiliaires d'injection, à

assembler les segments des anneaux de cuvelage pendant la descente de celui-ci, et à d'autres petits travaux de levage.

L'installation des pompes pour actionner le courant d'injection comprenait, au siège Diergardt II, trois pompes à boue débitant environ  $1^m^35$  par minute chacune.

L'installation de filtrage (fig. 7) occupe une surface d'environ 800 mètres carrés et consiste en trois caisses d'épuration *a* munies de tamis et des canaux à schlammes *c* réunis entr'eux par les conduites *b*. Les caisses servent à débarrasser le liquide d'injection des parties les plus grossières; le reste, une poudre sableuse, se dépose dans les canaux. Au moyen de registres, on peut mettre chaque caisse et chaque canal en dehors du circuit, ce qui permet de les nettoyer sans interrompre le travail. Les conduites *d* conduisent le liquide clarifié aux tuyaux des pompes *c*. L'intérieur de l'installation

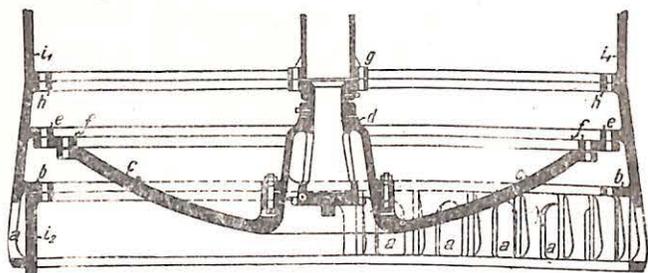


Fig. 8.

de décantation contient deux bassins *f* pour la préparation du liquide devant servir au bétonnage du puits et qui doit être exempt d'argile, et pour délayer le lait de ciment. Sur le fond de ces bassins sont répartis de nombreux tuyaux par lesquels le compresseur envoie de l'air comprimé dans le lait de ciment ou dans le liquide de bétonnage, ce qui assure un mélange plus intime de l'eau avec le ciment ou l'autre matière de bétonnage (craie en poudre).

Le cuvelage est constitué d'anneaux allemands; chaque cercle comprend six segments. On a renoncé à employer des anneaux d'une seule pièce comme Haniel & Lueg en emploient dans le procédé Kind-Chaudron. L'extrémité inférieure du cuvelage comprend un anneau-porteur dont la construction répondant aux besoins du procédé qui exige un fond étanche, est indiquée à la figure 8. Comme les autres anneaux, cet anneau-porteur est en fonte; il présente sur

toute sa surface des ouvertures *a* destinées à laisser un passage au liquide dense. Dans sa partie inférieure, il est constitué de façon à ce que l'on puisse continuer l'approfondissement du puits par les procédés ordinaires en plaçant un cuvelage sous cet anneau-porteur; dans ce but, celui-ci porte à sa base un élargissement conique muni d'une bride *b* à laquelle vient se rattacher la bride du cuvelage de prolongation. Le fond *c* est réuni à la bride *e* par l'intermédiaire d'une pièce *f* composée de trois segments; l'intercalation de cette pièce a pour but de faciliter l'enlèvement du fond une fois l'étanchéité du cuvelage obtenue. A ce fond est rattaché le robinet d'arrêt et de réglage *d* auquel est reliée la tige *g*. Cette tige sert de tube d'équilibre et est utilisée pour la circulation du liquide dense.

#### Marche du fonçage.

On commença, au siège Diergardt, à creuser, par revêtement descendant en maçonnerie un avantpuits de  $4^m20$  de diamètre intérieur destiné à isoler les couches supérieures du gravier et leur nappe aquifère; on lui donna une profondeur de  $17^m40$ . Cette profondeur ne suffit pas pour traverser complètement le gravier, ce qui, d'abord, n'alla pas sans causer quelques inquiétudes.

En fait, au commencement des travaux de fonçage, il se produisit un accident: pendant qu'on était en train de descendre le trépan, le câble s'échappa du tambour du treuil de 30 tonnes; le trépan, qui se trouvait encore à quelques mètres au-dessus du fond, tomba; la tige traversa l'échafaudage en forts madriers établi sur le mur du revêtement descendant et entraîna dans le puits les ouvriers qui se trouvaient sur le plancher. Après l'accident, on s'aperçut qu'il manquait un homme et on ne put le retrouver immédiatement. On se résolut alors à explorer le fond du puits dans la pensée que la trousse coupante isolait encore la fouille et avait suffisamment consolidé les parois, mais ce travail entraîna une irruption de gravier. On essaya de pousser plus profondément l'enfoncement du revêtement, mais sans grand succès. Comptant sur l'efficacité de l'injection du liquide dense, on décida de reprendre le travail de fonçage sans avoir réalisé l'isolement complet du gravier par le revêtement descendant. On parvint à retirer le cadavre et le trépan et on continua alors le fonçage.

L'enfoncement fut d'abord peu rapide, ce qui avait pour cause l'insuffisance de la densité du liquide d'injection. Les premières couches à traverser étaient plus riches en gravier et en sable, de sorte qu'on ne

pouvait s'attendre à ce que le liquide augmentât de densité du fait de la teneur en argile des terrains; c'est pourquoi on ajouta au liquide quelques chargements d'argile grasse et, grâce à l'augmentation de la densité du liquide, l'avancement ne cessa d'augmenter. A cette augmentation artificielle de la densité du liquide vint encore s'ajouter l'augmentation naturelle provenant de la traversée de couches d'argile de sorte que finalement le poids spécifique atteignait 1.40 à 1.50, poids que l'on maintint jusqu'à la fin du fonçage.

L'enfoncement journalier variait considérablement suivant la nature des terrains traversés. L'avancement maximum fut de 7 mètres. Si on met à part le commencement de fonçage, qui fut influencé par l'insuffisance du poids spécifique du liquide, on obtint des résultats satisfaisants jusqu'à la profondeur de 78 mètres environ.

Mais à cette profondeur, subitement, l'avancement diminua d'une façon considérable. Comme, en ce moment, le courant liquide ramenait de grande quantité de grains de pyrite dont la grosseur atteignait celle d'une noisette, on crut avoir affaire à un banc épais de pyrite qui avait déjà présenté une grande résistance à tous les sondages. On se résolut donc à poursuivre d'abord le fonçage avec un trépan de 1<sup>m</sup>50 de diamètre et, avec ce trépan, on arriva à environ 89 mètres, profondeur à laquelle on crut avoir atteint le terrain houiller. On commença alors le fonçage au grand trépan. Les avancements furent alors meilleurs, mais sans atteindre ceux obtenus précédemment. A la profondeur de 88 mètres, le fonçage fut arrêté car le trépan tombait très durement et le liquide de retour montrait une coloration et une composition qui fit conclure que l'on avait atteint le terrain houiller. Le trépan fut retiré et l'on commença les préparatifs du cuvelage. L'examen du trépan permit de constater que certains couteaux étaient très fortement usés et que de plus plusieurs couteaux de la périphérie manquaient. Plus tard, lorsqu'on enleva le fond du cuvelage, on retrouva ces couteaux qui portaient une quantité de traces de coups de trépan. On s'expliqua ainsi le mauvais rendement qu'on avait obtenu à partir de 78 mètres : on avait foncé sur ces morceaux de fer et, même avec l'emploi du forage préliminaire au petit trépan, on n'était pas parvenu à les faire tomber tous dans le puits préparatoire ainsi creusé. De ces observations on conclut que le mode d'attache des couteaux au corps du trépan était insuffisant; aussi adopta-t-on un autre mode de fixation pour le fonçage du puits Hannover.

Le montage de l'anneau porteur et du fond ainsi que la descente

du cuvelage s'effectua rapidement et sans difficulté. On attacha une importance spéciale au montage précis des anneaux de cuvelage car on craignait avec le système de segments, ne pouvoir arriver à une étanchéité parfaite, surtout aux angles des segments; cette crainte, cependant ne se réalisa pas. Après avoir monté un anneau de cuvelage sur l'anneau porteur on ferma le robinet de la tige (voir fig. 8) et on commença de suite la descente du cuvelage. Le bord supérieur du dernier anneau monté était toujours tenu suffisamment haut pour permettre la continuation facile du placement des anneaux suivants. La descente proprement dite fut réglée par l'introduction d'eau dans le cuvelage. On envoyait toujours suffisamment d'eau pour que la colonne entière de cuvelage descendit en flottant.

L'emploi de treuils de descente, comme en utilisent Haniel & Lueg pour la descente du cuvelage dans le procédé Kind-Chaudron, n'était pas prévu; ils étaient d'ailleurs superflus, la force portante du liquide dense injecté étant suffisante pour assurer continuellement la flottaison du cuvelage.

Le cuvelage put ainsi, en lui amenant ou lui enlevant de l'eau, facilement être levé ou descendu.

Afin d'éviter une interruption de l'injection pendant le placement du cuvelage, on établit, immédiatement après l'enlèvement du trépan, quatre tuyaux auxiliaires d'injection munis, à leur partie inférieure, d'un tuyau perforé et courbé vers la périphérie du puits, afin de pouvoir bien asperger toute la section du puits avant et pendant le placement du cuvelage. Dès que le fond du cuvelage fut arrivé à quelques mètres du fond du puits, les tuyaux d'injection furent tournés de telle façon que leurs embouchures fussent tangentes aux parois du puits et à ce qu'ils pussent ainsi être soulevés. Le cuvelage fut alors déposé sur le fond du puits et celui-ci mis en état. Entretemps, on avait préparé un deuxième liquide, plus dense, propre à former avec du ciment un solide béton. Pour la préparation de ce liquide, on utilisa de la poudre crayeuse et le mélange se fit dans les bassins prévus pour cet usage, entre les canaux d'épuration de l'installation de filtrage et les bassins d'aspiration des pompes. Après avoir arrêté l'injection d'argile, on envoya aux pompes l'injection crayeuse et on la dirigea à travers les tiges de fonçage, après avoir ouvert le robinet adapté sous le fond du cuvelage. Par les ouvertures *a* de l'anneau porteur (voir fig. 8), la nouvelle injection pénétra dans l'espace entre le cuvelage et la paroi du puits et monta jusqu'à la surface. En même temps on refoulait également par les tuyaux

auxiliaires du lait de craie. Dès qu'on eut constaté que le nouveau liquide avait chassé l'ancienne injection argileuse, effet que l'on obtint en donnant à ce liquide une densité plus forte que celle de la première injection, on injecta de suite, au lieu de la boue crayeuse, un lait de ciment à travers les tiges de fonçage. Après quelques temps, le robinet de la tige fut fermé et l'adduction de ciment continuée par les tubes auxiliaires suspendus, en élevant ceux-ci au fur et à mesure des progrès du bétonnage. Dès que le mélange de ciment et de craie atteignit le niveau de la recette du puits, le travail de cimentation fut arrêté, on compléta d'en haut la charge de béton au fur et à mesure que celle-ci se tassait, jusqu'à bien remplir l'espace entre le cuvelage et la paroi du puits.

Le bétonnage du cuvelage demanda trois heures. La quantité de ciment employée fut d'environ 80,000 kilog.

Afin de permettre au béton de se durcir, on laissa reposer le puits pendant quelques semaines. Ce temps fut employé à faire les préparatifs d'approfondissement.

Lorsqu'on eut démergé le puits pour la reprise des travaux, on constata que celui-ci était complètement sec. Ce n'est que plus tard, après l'enlèvement du fond, et par suite de la détente qui en résulta, que le cuvelage laissa passer environ 2 litres par minute.

Pendant qu'on procédait à l'enlèvement du fond on remarqua cependant encore sur la fouille du puits du liquide argileux ce qui fit craindre une non-réussite du bétonnage. Lorsqu'on eut vidé ce liquide argileux, on s'aperçut que l'on avait fait erreur en croyant avoir atteint le terrain houiller; on se trouvait encore à un mètre au-dessus, mais, heureusement, le terrain restant à traverser était du sable argileux sec.

On aurait pu commencer de suite la suspension des anneaux de cuvelage à l'anneau-porteur construit à cet effet; cependant, afin de ne mettre aucunement le puits en danger, on se résolut à atteindre d'une autre façon le terrain houiller, c'est-à-dire par une espèce de revêtement descendant. On construisit des cercles en fer carré, d'une section de  $100 \times 100^m/m$ , avec un diamètre intérieur de 3 mètres et pressé pièce par pièce. Le premier cercle devant, en quelque sorte, jouer le rôle de trousse coupante, n'avait pas un profil carré mais triangulaire. Les divers cercles furent réunis l'un à l'autre de façon à faire de toute la colonne un tout solide.

Pendant ce travail il n'apparut pour ainsi dire pas d'eau; pendant tout le temps que dura la construction des cercles ce

n'est que par gouttes que l'eau tombait. Dès lors, on ne pouvait douter de l'étanchéité du cuvelage; autrement, à cause des fortes venues d'eau venant surtout des couches de gravier, on aurait eu de grandes quantités d'eau et une irruption de terrains bouillants. Le meilleur moyen de s'assurer qu'il s'était formé une couche compacte de béton entre le cuvelage et les parois du puits eût été de percer le cuvelage en divers endroits; ce moyen ne fut cependant pas employé, la direction de la mine le considérant comme trop dangereux.

Faute de données, on ne peut fournir des détails précis concernant le prix de revient du procédé en question. Cela ne pourrait d'ailleurs donner une idée générale car, au cours d'un premier essai, il arrive naturellement un tas de difficultés qu'une pratique plus étendue permettra d'éviter et, dans le cas qui nous occupe, il est certain que les frais furent élevés et le temps exigé plus considérable que quand, par suite d'une plus longue pratique, on aura pu perfectionner toute l'installation. Contentons nous de rappeler ici les pertes de temps occasionnées par l'accident survenu au commencement du travail de fonçage, par l'insuffisance de densité du liquide injecté au début et surtout par le détachage des couteaux à la profondeur de 78 mètres et le fonçage sur fer qui en résulta. Cependant, avec l'expérience qu'on possède actuellement, on peut dire qu'il est certain que le procédé pourra donner des résultats favorables dans des terrains semblables aux morts-terrains du bassin du Rhin-inférieur.

Jusqu'à quelle profondeur et quel diamètre son emploi est possible, on ne peut le dire dès à présent. Le deuxième puits en creusement par le procédé Stockfish, celui de la Gewerkschaft Hannover, qui, à la mi-mars 1912 avait atteint, au puits préparatoire, une profondeur de 105 mètres, aura un diamètre de 4<sup>m</sup>10. L'expérience acquise au cours du creusement de ce puits nous dira si on peut dépasser ce diamètre.

Au sujet de la profondeur limite d'application du procédé, un des facteurs est le poids de la tige de fonçage, poids que l'on peut, il est vrai, diminuer en entourant les tubes de la tige d'une masse flottante concourant ainsi à soutenir la tige. Comme telle, on pourrait utiliser le kapok, fibre végétale qui ne prend pas l'eau et qui peut se tisser en rubans qu'on enroulerait autour de la tige. Un calcul superficiel nous permet de dire que, grâce à la forte densité de l'injection, il suffirait déjà d'un enveloppement de 10 centimètres d'épaisseur pour obtenir un allègement notable de la tige. La traversée de terrains meubles serait ainsi rendue possible jusqu'à une profondeur de plu-

sieurs centaines de mètres. Dans le cas où il ne serait pas possible de donner au puits un diamètre de plus de 4 mètres, ce procédé n'aurait que peu d'importance pour les puits principaux d'extraction mais garderait indubitablement de l'intérêt pour les puits d'aérage et d'épuisement, de plus petit diamètre.

