

TRAVERSÉE

DANS LE

Creusement de deux puits d'une assise de sables bouillants
soumise à une pression de 63 atmosphères

PAR

LOUIS SAUVESTRE

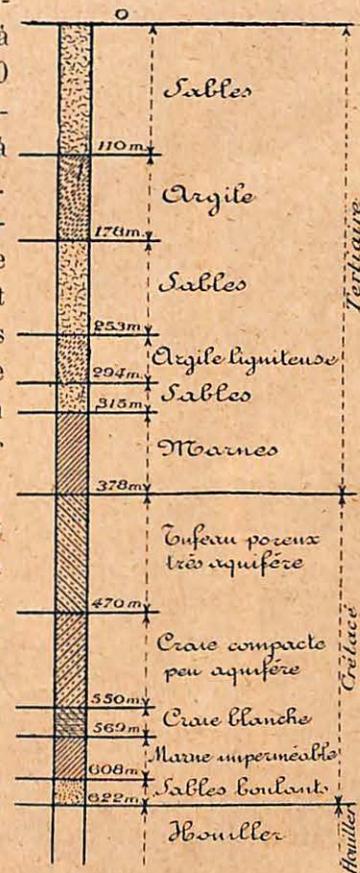
Ingénieur Civil des Mines (E. S. M. P.)

Directeur technique de la Société des Charbonnages de Beeringen.

La Société des Charbonnages de Beeringen avait à creuser deux puits de 5^m80 de diamètre utile pour atteindre le terrain houiller situé à 622 mètres de profondeur. Les morts terrains se composaient d'une succession de bancs de sables bouillants et d'argile sur les 378 premiers mètres de tertiaire, puis de craie très aquifère jusqu'à 500 mètres environ (voir figure ci-contre).

En dessous, la craie était compacte et même, de 571 à 608, le terrain était constitué par de la marne absolument imperméable, mais de 608 à 622, il y avait une formation de sables.

Les puits furent creusés jusqu'à 500 mètres par le procédé de la congélation, revê-



tus au moyen de cuvelage en fonte jusqu'à cette profondeur. De 500 à 571, ils furent maçonnés.

Des sondages furent alors exécutés pour établir la nature des sables qui recouvraient le houiller et, contrairement à ce que l'on avait espéré, on reconnut qu'ils étaient franchement bouillants et que la pression à laquelle ils étaient soumis atteignait 63 atmosphères.

On se décida alors à passer ces 14 mètres de sables au moyen d'une reprise de congélation exécutée du fond du puits, et l'on commença par faire une série d'expériences pour déterminer la résistance du sable congelé, car les formules généralement employées nous amenaient à conclure à l'impossibilité d'exécuter le travail.

En effet, D étant le diamètre au creusement égal à 8 m. et R la résistance à la rupture du sable gelé (suivant Alby, 110 kgs par centimètre carré à -10°), l'épaisseur de la muraille de glace est donnée par la formule :

$$P(D + 2e) = 2eR,$$

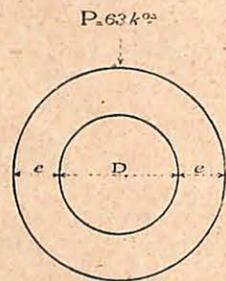
d'où

$$e = \frac{PD}{2(R - P)} = \frac{63 \times 8}{2(110 - 63)} = 5,40 \text{ m.}$$

C'est-à-dire qu'un rempart de sable gelé à -10° de 5,40 mètres d'épaisseur, se rompt sous la pression de 63 kgs. Pour avoir un coefficient de sécurité, aussi faible soit-il, il fallait donc un mur d'une épaisseur impossible à obtenir pratiquement.

Essais de résistance d'un anneau de sable congelé.

Nous nous décidions alors à procéder à des expériences directes et cherchions à réaliser un puits en miniature sur



lequel nous étudierions les effets de la compression sur l'extrados d'un anneau de sable congelé.

L'appareil que nous avons construit à cet effet, se compose (voir pl. I, fig. 1) d'une cuve en fonte cylindrique A de 600 millimètres de diamètre, renforcée par deux séries de frettes en acier. Une virole en plomb B de 3 millimètres d'épaisseur est engagée dans cette cuve et ne laisse entre elle et la cuve qu'un jeu de 5 millimètres obtenu à l'aide de gouttes de soudure préalablement posées à l'extrados du cylindre de plomb (voir pl. I, fig. 2).

Les extrémités supérieure et inférieure de la virole sont rabattues sur celles de la cuve de façon à former joint. Le plateau plein inférieur C (fig. 1) et le plateau annulaire supérieur D sont réunis par 20 tirants E dont le serrage, en écrasant les collets de la virole, constitue, entre la cuve et la virole, une chambre annulaire étanche qui est mise en communication avec une pompe de compression pouvant refouler de l'huile incongelable.

Pour réaliser l'anneau de sable gelé, il suffit de disposer dans l'axe de la cuve un tuyau central F tourné, légèrement conique (voir pl. I, fig. 2). Entre ce tube F et la virole, on tasse du sable saturé d'eau. Une frette G placée à la partie supérieure de cet anneau de sable figure un anneau de cuvelage.

Tout l'appareil repose dans une cuve réfrigérante R recevant de la saumure froide. Cette saumure arrive par un serpentín; un second serpentín concentrique au précédent peut être parcouru par de la vapeur. Par ce moyen, nous pouvions maintenir rigoureusement constante la température de la saumure. La température du sable était mesurée à l'intérieur d'une poche à thermomètre située au milieu de l'épaisseur de l'anneau (pl. I, fig. 2).

La congélation de l'anneau effectuée, il suffisait de souffler un peu de vapeur à l'intérieur du noyau F , de façon

à fondre la pellicule de terrain immédiatement en contact avec la paroi externe du tuyau, puis de retirer ce dernier à l'aide de deux vérins d'abord et d'un palan ensuite. Nous avons alors l'image exacte d'un puits congelé en cours de creusement, et nous étions à même d'exercer de la pression sur l'extrados de l'anneau de sable congelé.

ESSAIS

De très nombreux essais furent effectués. Nous ne relaterons ici que les plus intéressants (voir pl. 2 à 14).

Chaque essai figure sur une planche :

A. — L'état du puits auquel l'essai se rapporte à l'échelle de 1/200 ;

B. — L'état de l'anneau de sable avant l'essai à l'échelle de 1/10 ;

C. — L'état de l'anneau de sable après l'essai à l'échelle de 1/10,

ainsi que les graphiques de la déformation sous l'influence de la pression et du temps.

En effet, dès nos premiers essais, entrepris pour déterminer la pression de rupture, nous nous aperçûmes que le sable gelé, loin d'être cassant, était franchement plastique et nous ne sommes jamais parvenus à la rupture ; quand la déformation devenait trop forte, le joint sautait.

Mesure de la déformation.

A l'intérieur de l'évidement cylindrique, un multiplicateur à quatre branches fut placé donnant les variations du rayon aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires (voir pl. I, fig. 1). Plus tard, un multiplicateur fut placé

pour suivre le mouvement du fond. Nous pouvions ainsi apprécier très facilement le 1/10 de millimètre.

6° ET 13° ESSAIS (pl. II).

Les caractéristiques étaient les suivantes :

Rapport de réduction : 1/18,7.

Anneau d'essai		correspondant dans le puits à	
Épaisseur du sable gelé	77 millimètres	1,440 mètres	
Hauteur découverte.	730 —	13,700 —	
Diamètre intérieur . .	427 —	8,000 —	

Température de la masse gelée : $-10^{\circ} 6$ C.

Nous appliquions sur l'extrados une pression de 6 kgs par centimètre carré et nous notions à cette faible pression une déformation radiale qui, au bout de 56 heures, atteignait 0,4 millimètre correspondant dans le puits à 7,48 millimètres.

Sous la pression de 7 kgs, appliquée pendant 93 1/2 heures, la déformation radiale avait atteint 1,1 millimètre correspondant dans le puits à 20,5 millimètres.

La pression, poussée à 10 kgs et maintenue pendant 7 1/2 heures, élevait la déformation à 2 millimètres correspondant dans le puits à 37,4 millimètres.

Une fuite nous obligeait à opérer un second moulage (essai n° 13) avec les mêmes caractéristiques que le précédent.

Nous partions à 10 kgs et, au bout de 16 1/2 heures, la déformation radiale atteignait 1,3 millimètres correspondant dans le puits à 24,31 millimètres.

A 15 kgs, la déformation était beaucoup plus rapide et s'élevait, au bout de 12 heures, à 15,8 millimètres correspondant dans le puits à 295,46 millimètres.

Conclusion. — 1° Le sable gelé est franchement plastique.

2° La déformation radiale augmente avec le temps et la pression.

La déformation commence à des pressions très faibles. Il y a même lieu de supposer qu'elle commence théorique-

ment dès qu'il y a pression et qu'un appareil infiniment sensible pourrait la déceler.

La déformation croît continuellement avec le temps, mais de moins en moins, la courbe de déformation tendant à devenir asymptotique à une parallèle à l'axe des temps.

On voit enfin que la déformation subie sous 10 kgs est très admissible en pratique, mais, qu'à 15 kgs, elle ne l'est plus.

Il y a donc une pression limite que l'on ne peut pas dépasser sous peine d'avoir des déformations inacceptables en pratique.

8^e ESSAI (pl. III).

Les caractéristiques étaient les suivantes, ne différant de celles de l'essai précédent que par la diminution de la hauteur découverte :

Rapport de réduction ; 1/19.

Anneau d'essai	correspondant dans le puits à :	
Épaisseur du sable gelé	77 millimètres	1,460 mètres
Hauteur découverte	182 »	3,450 »
Diamètre intérieur	421 »	8,000 »
Température	— 10°6	

Le diagramme montre la faible déformation subie aux pressions de 7 kgs, 10 kgs et 15 kgs, appliquées respectivement pendant 12, 12 et 15 heures. Après 12 heures de pression à 20 kgs, la déformation radiale avait atteint 3 millimètres correspondant dans le puits à 57 millimètres.

Après 12 heures de pression à 25 kgs, nous avons 9 millimètres correspondant dans le puits à 171 millimètres.

Enfin, à 30 kgs, la déformation s'accroissait d'une façon absolument inadmissible en pratique.

Cet essai montre que la diminution de la hauteur découverte permet à un anneau de sable congelé de supporter des pressions beaucoup plus élevées. En comparant les

diagrammes des essais nos 13 et 8, on voit que, par le fait d'avoir abaissé la hauteur découverte de 730 millimètres à 182 millimètres, il fallait une pression double pour amener la même déformation radiale.

9^e, 10^e ET 12^e ESSAIS (pl. IV).

La déformation radiale diminuant avec la hauteur découverte, nous voulûmes aller à la limite, c'est-à-dire ne laisser comme hauteur découverte que celle nécessaire pour pouvoir placer un anneau de 500 millimètres de hauteur.

Les caractéristiques du moulage sont les suivantes :

Réduction au : 1/18,7.

		Puits.
Épaisseur du sable gelé	80 millimètres	1,500 mètres
Hauteur découverte	50 »	0,936 »
Diamètre intérieur	427 »	8,000 »
Température	— 10°6	

Nous commençons à la pression de 20 kgs, qui nous donnait au bout de 12 heures une déformation négligeable. Après 12 heures 40 minutes, à 30 kgs, la déformation radiale atteignait 0,7 millimètres correspondant dans le puits à 13,09 millimètres.

Après 5 heures 20 minutes, à 35 kgs, la déformation avait atteint 1,4 millimètres correspondant dans le puits à 26,18 millimètres.

Ayant eu une fuite, nous faisons un nouveau moulage avec les mêmes caractéristiques, où le joint lâchait encore à 35 kgs au bout de 12 1/2 heures.

Nous refaisons un nouveau moulage (12^e essai) et appliquons d'abord 40 kgs pendant 13 heures, puis 50 kgs pendant 12 heures. Vers la 7^e heure, nous nous apercevions que la déformation radiale tendait à s'arrêter et nous voyions en même temps le fond du puits s'incurver en arc de cercle. Nous montions la pression à 60 kgs ; il n'y avait plus de déformation radiale, mais le fond se déformait très rapidement (voir fig. C). La flèche de la calotte sphérique atteignait 49,5 millimètres correspondant dans le puits à 925,65 millimètres.

Conclusion. — En diminuant la hauteur découverte, l'anneau est capable de supporter des pressions beaucoup

plus élevées, mais il y a une limite qu'il devient inutile de dépasser, car le fond alors se met lui-même en mouvement, ce qui produit la même déformation de l'extrados du cylindre gelé.

Après avoir fait les essais précédents avec une faible épaisseur de sable gelé, pour nous rendre compte des phénomènes sans devoir recourir aux pressions élevées, nous entreprîmes une série d'essais avec une épaisseur de 140 millimètres correspondant à une épaisseur de rempart dans le puits de 3,700 mètres.

14^e ET 15^e ESSAIS (pl. V).

Réduction au : 1/26,6.

Épaisseur du sable gelé.	140 millim.	correspondant à	3,700 mètres
Hauteur découverte.	100 »	»	2,660 »
Diamètre intérieur.	300 »	»	8,000 »
Température.	— 10°6		

Dans le 14^e essai, la pression de 30 kgs pendant 12 heures nous donnait une déformation radiale de 0,6 millimètres correspondant dans le puits à 15,96 millimètres.

L'élévation de pression à 40 kgs pendant 12 heures amenait la déformation à 2 millimètres correspondant dans le puits à 53,2 millimètres. Sur un nouveau moulage fait avec les mêmes caractéristiques, 11 heures de pression à 50 kgs donnaient une déformation de 7 millimètres correspondant dans le puits à 186,2 millimètres et 10 heures à 60 kgs montaient la déformation à 11,8 millimètres correspondant dans le puits à 313,8 millimètres. Le fond n'avait pas bougé.

Conclusion. — La surépaisseur nous permettait de supporter très facilement une pression de 40 kgs, mais la pression de 50 kgs était déjà une pression limite.

16^e ESSAI (pl. VI).

Dans l'essai suivant, nous conservions les mêmes caractéristiques, mais réduisions la hauteur découverte à 50 millimètres correspondant

dans le puits à 1,33 mètres et, partant de 40 kgs, nous pouvions élever la pression jusqu'à 60 kgs en obtenant, au bout de 36 heures, des déformations de :

5 millim.	pour le fond	correspondant dans le puits à	133 millim.
6,8 »	pour le rayon	»	180 »

Jusqu'à présent, tous les essais avaient été faits à la température de — 10°6 ; nous attaquions alors une série d'essais à — 20°.

17^e ESSAI (pl. VII).

Caractéristiques.		Rapport de réduction :	1/26,6.
Épaisseur du rempart.	143 millim.	correspondant à	3,800 mètres
Hauteur découverte.	50 »	»	1,330 »
Température.	— 20°.		

La pression de 60 kgs fut appliquée pendant 44 1/2 heures et la déformation radiale était de 2,7 millimètres correspondant dans le puits à 71,8 millimètres, et la déformation du fond était de 5,5 millimètres correspondant dans le puits à 146 millimètres.

La pression ayant été portée à 70 kgs et maintenue pendant 45 1/2 heures, la déformation radiale avait atteint 5 millimètres, correspondant dans le puits à 133 millimètres et la déformation du fond, 8,1 millimètres correspondant dans le puits à 215,46 millimètres.

A 80 kgs, pendant 32 1/2 heures, la déformation radiale atteignait 6,4 millimètres correspondant dans le puits à 170 millimètres et la déformation du fond 11,2 millimètres correspondant dans le puits à 298 millimètres.

Au bout de 5 heures, à 90 kgs, nous avons une fuite.

Par cet essai, nous voyons qu'un mur de 3^m80 d'épaisseur à — 20° permet la traversée, en posant le cuvelage en descendant avec des anneaux de 1 mètre.

18^e ESSAI (pl. VIII).

Tous les essais faits jusqu'à présent l'avaient été sur un sable dont la composition était la suivante :

Argile	8 %	} en poids.
Sable	65 »	
Eau (saturation)	27 »	

Nous prenions alors un sable plus argileux dont la composition en poids était la suivante :

Sable sec	65 %
Argile sèche	35 »

Le mélange a été ensuite saturé d'eau.

Rapport de réduction : 1/26,6.

Épaisseur du rempart 142 millimètres correspondant à 3,780 mètres.

Hauteur découverte 43 » » 1,145 »

Diamètre du puits 300 » » 8,000 »

Température : —20°.

Nous avons appliqué la pression de 60 kgs, qui, au bout de 45 heures, a provoqué une déformation radiale de 1 millimètre, correspondant dans le puits à 26,6 millimètres et une déformation du fond de 2,7 millimètres, correspondant dans le puits à 71,8 millimètres.

La pression fut élevée à 70 kgs et amena, au bout de 49 heures, la déformation radiale à 4 millimètres, correspondant dans le puits à 106 millimètres et la déformation du fond à 9,7 millimètres, correspondant dans le puits à 258 millimètres.

La pression de 80 kgs, appliquée pendant 74 heures, amena la déformation radiale à 12,4 millimètres, correspondant dans le puits à 329,8 millimètres et la déformation du fond à 28,5 millimètres, correspondant dans le puits à 758 millimètres.

Enfin, la pression de 90 kgs ne put être appliquée que pendant 8 heures, le joint ayant sauté. A cette pression, comme le montre le diagramme, la déformation croissait beaucoup plus rapidement.

Si l'on compare ce diagramme avec celui du 17^e essai qui s'applique à un sable ne contenant que 11 % d'argile au lieu de 35 %, on voit qu'à 60 kgs, les résultats sont plus favorables ; à 70 kgs, ils sont à peu près les mêmes à 80 kgs et à 90 kgs, moins bons.

20^e ESSAI (pl. IX).

Nous avons voulu voir l'influence d'un abaissement de la température du sable et avons fait un essai avec du sable à —25°, toutes autres caractéristiques identiques aux précédentes.

La comparaison des diagrammes 18^e et 20^e essais montre l'accroissement de résistance obtenue par un abaissement de 5°.

Avec le sable à —25°, la déformation à 80 kgs est à peu près identique à la déformation à 60 kgs avec le sable à —20°. Chaque degré de froid permet donc de supporter une surpression de 4 kgs.

22^e ESSAI (pl. X).

Nous nous sommes placés dans les conditions identiques à celles des 18^e et 20^e essais, mais la température du sable a été abaissée à —34°.

En comparant les diagrammes des 18^e, 20^e et 22^e essais, on voit que la déformation a encore notablement diminué, mais pas cependant dans les proportions auxquelles on pouvait s'attendre, étant donné l'amélioration constatée en passant de —20° à —25°.

A ces deux températures, nous avons vu qu'un abaissement de 1° permettait une surcharge de 4 kgs. Si nous comparons les diagrammes 20 et 22, c'est-à-dire à —25° et —34°, nous voyons qu'à —34°, la déformation à 80 kgs est analogue à celle obtenue à 60 kgs pour le sable à —25°. On ne gagnerait plus alors, entre ces deux températures, que 2 kgs par degré.

23^e ESSAI (pl. XI).

Le 23^e essai a été pratiqué avec de la glace pure.

Nous avons sous la frette une hauteur découverte de 50 millimètres, l'anneau avait une épaisseur de 143 millimètres et la glace a été maintenue à une température de -19° .

La pression par centimètre carré a été portée successivement à 40 kgs, 45 kgs, 50 kgs, 55 kgs, 60 kgs et 65 kgs et maintenue pendant 24 heures à chaque échelon.

On voit, d'après le diagramme, l'importance de la déformation de l'anneau et du fond.

Après l'essai, non seulement toute la hauteur découverte avait disparu, mais la frette elle-même était en partie obstruée par le foisonnement de la glace.

Si l'on compare les diagrammes avec ceux du 18^e essai, l'on voit que, toutes choses égales d'ailleurs, la déformation subie par la glace à la pression de 40 kgs est la même que celle subie par le sable à 70 kgs.

24^e, 25^e ET 26^e ESSAIS (pl. XII, XIII et XIV).

Nous nous sommes placés dans ces trois essais dans les conditions de pression identiques à celles auxquelles nous aurons affaire dans la traversée du hervien.

Notre réduction correspond au creusement d'un puits par passes de 1 mètre, au diamètre de creusement de 8 mètres, avec une épaisseur de rempart égale à 3,80 mètres.

Dans le 24^e essai, nous l'avons maintenu à $-19^{\circ}5$ et lui avons fait supporter pendant 99 heures la pression de 63 kgs par centimètre carré. Comme le montre le diagramme des déformations, la déformation *radiale* a été, au bout de 99 heures, de 5 millimètres et la déformation du fond de 13 millimètres. C'est-à-dire que, en 99 heures, le *diamètre* de notre puits se serait réduit de 266 millimètres et que le fond se serait soulevé de 345 millimètres.

Dans le 25^e essai, la température du sable a été portée de $-19^{\circ}5$ à -26° et l'anneau a été soumis à la pression de 63 kgs. L'on voit,

en comparant les deux diagrammes, l'influence considérable de l'abaissement de température sur la résistance de l'anneau.

Au bout de 100 heures, nous trouvons que les déformations radiale et du fond sont respectivement de 1 millimètre et 2,4 millimètres au lieu de 5 millimètres et de 13 millimètres trouvés précédemment. Dans ce cas là donc, le *diamètre* de notre puits ne se réduirait en 100 heures que de 53 millimètres et le fond ne se soulèverait que de 64 millimètres.

La déformation de notre moulage étant insignifiante, nous avons porté tout simplement sa température de -26° à -15° et avons fait le 26^e essai.

Au bout de 100 heures, à une pression de 63 kgs, la déformation radiale est de 18,8 millimètres et celle du fond de 34,7 millimètres. Dans ce cas-là, le diamètre de notre puits au bout de 100 heures se réduirait de 1 mètre et le fond se soulèverait de 923 millimètres.

Conclusion. — La température de -15° pour le terrain est insuffisante, celle de -20° est acceptable, celle de -25° donne la plus complète sécurité.

CONCLUSIONS.

De tous ces essais, on peut tirer les conclusions suivantes :

1^o *Plasticité du sable gelé.* — Le sable gelé est franchement plastique. Nous ne sommes parvenus dans aucun de nos essais à amener la rupture. Nous en concluons que les accidents survenus dans le creusement des puits proviennent non pas de la rupture de la muraille gelée sous l'effet de la pression extérieure, mais bien de la rupture des tubes congélateurs qui laissent alors échapper la saumure qui dissout le rempart. En effet, sous l'effet de la pression, nous voyons le rempart fluer vers l'axe du puits qui tend à se refermer. Les tubes congélateurs, qui sont emprisonnés dans ce rempart, sont entraînés dans ce mouvement et se rompent. Si, au lieu de dissolution saline, on employait

comme véhicule du froid un liquide ne dissolvant pas le sable gelé, comme l'huile incongelable, par exemple, les mouvements de la paroi seraient beaucoup moins à redouter.

Etant donnée cette plasticité du sable, on voit que dès que le cuvelage est placé, il est mis en pression, ce qui a été constaté dans tous les creusements de puits. On a l'explication de ce phénomène constaté également : si, entre deux retraites de cuvelage, on laisse un vide à fermer par un raccord que l'on tarde quelques mois à placer, on s'aperçoit que la hauteur découverte a diminué. La compression du cuvelage a produit son allongement.

Enfin, tombe cette idée qui avait cours encore parfois qu'au dégel du terrain, une fois le puits terminé, le cuvelage allait être mis sous pression et qu'il était utile alors de noyer le puits avant de le dégeler. Le cuvelage est sous pression quelques semaines après sa pose. Le remplissage du puits est donc inutile. Il vaut, en tout cas, mieux avoir un puits en état d'observation et ne pas avoir à subir une interruption des travaux.

2° *Hauteur découverte.* — Les déformations sont d'autant plus accusées et se produisent à des pressions d'autant moins élevées que la hauteur découverte est plus grande.

Il est donc prudent, dans les sables gelés, comme dans d'autres terrains plastiques, argile et marne, de placer le cuvelage en descendant. On a certes pu faire de longues retraites dans les sables sans cuveler, mais cela tenait à ce que ces sables étaient soumis à de faibles pressions, pour lesquelles la courbe de déformation atteignait très vite l'asymptote.

Aux grandes pressions, il est impossible de procéder autrement qu'avec pose du cuvelage en descendant et

cimentation immédiate, anneau par anneau, du vide laissé entre le cuvelage et le terrain.

Il faut aussi, pour les mêmes raisons, que le terrain soit gelé jusqu'au centre du puits, car le noyau mouvant central n'ayant aucune résistance, on se trouverait alors dans le cas d'une grande hauteur découverte.

3° *Soulèvement du fond.* — Il n'y a pas intérêt à réduire la hauteur découverte au delà d'une certaine limite : 1,20 mètre à 1,50 mètre, car alors le fond commence à se soulever, ce qui conduit aussi à une déformation radiale.

La pression appliquée sur l'extrados semble, à un moment donné, se transmettre sur toute la masse gelée, comme dans un liquide. Si nous empêchons le sable de fluer sur les parois, c'est alors le fond qui se soulève, mais ce phénomène ne se produit qu'à des pressions beaucoup plus élevées que celles pour lesquelles les parois de l'anneau creusé se mettent en mouvement.

4° *Influence de la température.* — La résistance du sable gelé croît avec l'abaissement de la température. Nous avons vu qu'en comparant les diagrammes des 16° et 17° essais, la muraille subit à — 10° et 40 kgs la même déformation que la muraille à — 20° et à 60 kgs.

Les diagrammes des 18° et 20° essais montrent qu'à — 25°, il faut une pression de 80 kgs pour obtenir la même déformation de la muraille qu'à — 20° et 60 kgs.

Enfin, les diagrammes des 20° et 22° essais montrent qu'à — 34°, la muraille peut supporter 80 kgs sans être plus déformée que la muraille à — 25° sous la pression de 60 kgs.

On peut donc compter que chaque degré d'abaissement de température permet une augmentation de la pression de 2 kgs par centimètre carré.

Si donc l'on avait à faire à des pressions plus fortes

encore — de 80 kgs et de 100 kgs — on pourrait encore employer le procédé de la congélation, mais il faudrait agir alors sur la température en même temps que sur l'épaisseur.

5° *Influence du temps.* — Nous avons vu que la déformation va toujours croissant avec le temps, tout en ayant une tendance à devenir asymptote à une parallèle à l'axe des temps. La lecture des diagrammes montre que lorsque les conditions sont telles qu'on se trouve éloigné de la limite, la déformation croît très peu avec le temps. Si, au contraire, on est voisin de la limite, la déformation croît très rapidement.

Dans tous les cas, mais dans ce dernier cas surtout, il y a lieu de mener le travail rapidement.

Conclusions spéciales

en ce qui concerne le travail à exécuter à Beeringen.

Les 24^e, 25^e et 26^e essais nous ont démontré qu'avec une épaisseur de rempart de 3,80 mètres, une hauteur découverte de 1,41 mètres et un diamètre de 8 mètres au creusement, il fallait que le sable gelé ait une température d'au moins — 20°. Il nous fallait donc geler tout le bloc jusqu'au centre, l'amener à — 20°; avoir, après l'évidement de 8 mètres de diamètre, un anneau de terrain gelé d'au moins 3,80 mètres d'épaisseur, placer le cuvelage en descendant, par anneau de 1 mètre de hauteur, chaque anneau étant cimenté immédiatement après sa pose.

REPRISE DE CONGÉLATION

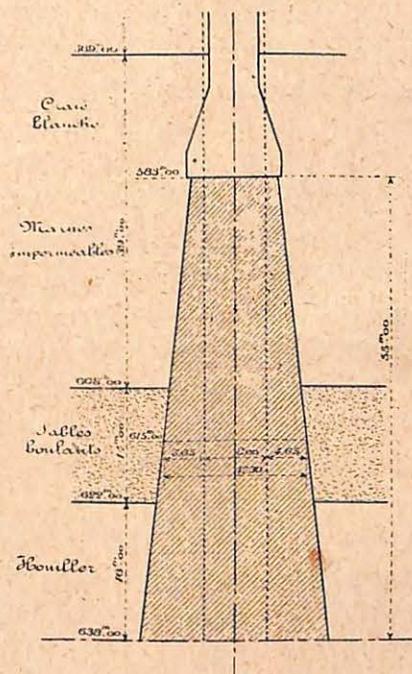
à 600 mètres de profondeur

Diamètre et hauteur du tronc de cône congelé.

Le creusement devant se faire au diamètre de 8 mètres, nous nous décidions à congeler un tronc de cône plein de 17,30 mètres de diamètre au milieu de la couche de sable (cote 615 mètres), ce qui nous donnerait, après évidemment, un rempart d'une épaisseur de 4,65 mètres.

Le houiller étant mauvais de 622 à 630, nous primes le parti de congeler jusqu'à la profondeur de 638 mètres.

Pour nous assurer de bonnes têtes de sondage, nous sommes partis de 583 mètres. La hauteur du tronc de cône congelé devait donc être de 55 mètres et le volume du bloc, celui représenté par la surface hachurée.



Cuvelage.

Sur la traversée des sables bouillants, deux cuvelages concentriques seront placés.

Le cuvelage extérieur, d'un diamètre utile de 6,82 mètres, sera constitué par des anneaux de 1 mètre de hauteur et sera placé en descendant au fur et à mesure du creusement, chaque anneau étant cimenté immédiatement après sa mise en place. Il s'étendra de 603 jusqu'à 631 mètres.

Le cuvelage intérieur du diamètre utile de 5,80 mètres sera constitué par des anneaux de 1 mètre et sera placé en montant de 644 à 593 mètres. Nous avons prévu pour le cuvelage extérieur une épaisseur de 120 millimètres. S'il supportait seul la charge, la fonte travaillerait à 1,834 kgs par centimètre carré, soit avec un coefficient de sécurité de 1/4. Pour le cuvelage intérieur, une épaisseur de 150 millimètres. S'il supportait seul la charge, la fonte travaillerait à 1,260 kgs par centimètre carré, soit avec un coefficient de sécurité de 1/6.

Nombre et disposition des tubes congélateurs.

Nous avons à congeler un bloc de terrain de 17,30 mètres de diamètre moyen dans un temps que nous avons fixé à 100 jours. Le calcul nous a amené à placer les sondages sur trois circonférences ayant respectivement 5, 10 et 15 mètres et sur lesquelles sont répartis 10, 20 et 30 sondages, soit 60 au total. La couronne intérieure de sondage se trouve placée dans le diamètre de creusement. Elle est destinée à accélérer la congélation du noyau central et disparaîtra au moment du creusement, les deux couronnes extérieures continuant seules pendant cette période à entretenir le froid. La couronne médiane comporte 20 sondages qui, seuls, sont poussés jusqu'à 638 mètres. Les sondages

des deux autres couronnes pénètrent seulement de quelques mètres dans le houiller, la grosse épaisseur du rempart n'étant nécessaire que sur la traversée des sables.

Puissance frigorifique nécessaire.

Le nombre des frigories à céder au terrain est de 477.540.000, soit, en 100 jours ou 2400 heures, 199.391 frigories-heure.

La transmission par sondage et par heure sera de

$$\frac{199\ 391}{60} = 3323 \text{ frigories,}$$

ce qui fait, par mètre carré de tube congélateur de 130 millimètres, 145 frigories-heure, ce qui est très réalisable.

Exécution des sondages.

L'exécution des sondages comportait trois opérations distinctes :

1° Pose des tubes-guides de 8" 1/2 sur 5 mètres de hauteur destinés à assurer l'inclinaison voulue ;

2° Pose des tubes de captage, 7" sur 28 mètres de hauteur (584-604 mètres) avec joint étanche entre tube et terrain ;

3° Enfin, creusement jusqu'à 638 mètres et pose des tubes congélateurs avec adaptation d'un presse-étoupe assurant l'étanchéité de l'espace compris entre le tube congélateur et le tube de captage.

Première opération. — Pose des tubes-guides.**Chambre de travail.**

De 572 à 580, le diamètre du puits fut porté de 6,60 m. à 10,50 mètres et conservé à ce diamètre jusqu'à 583 m. Nous avons ainsi une chambre spacieuse complètement maçonnée où plus tard nos couronnes collectrices pourraient être montées à l'aise (pl. XV, fig. 1).

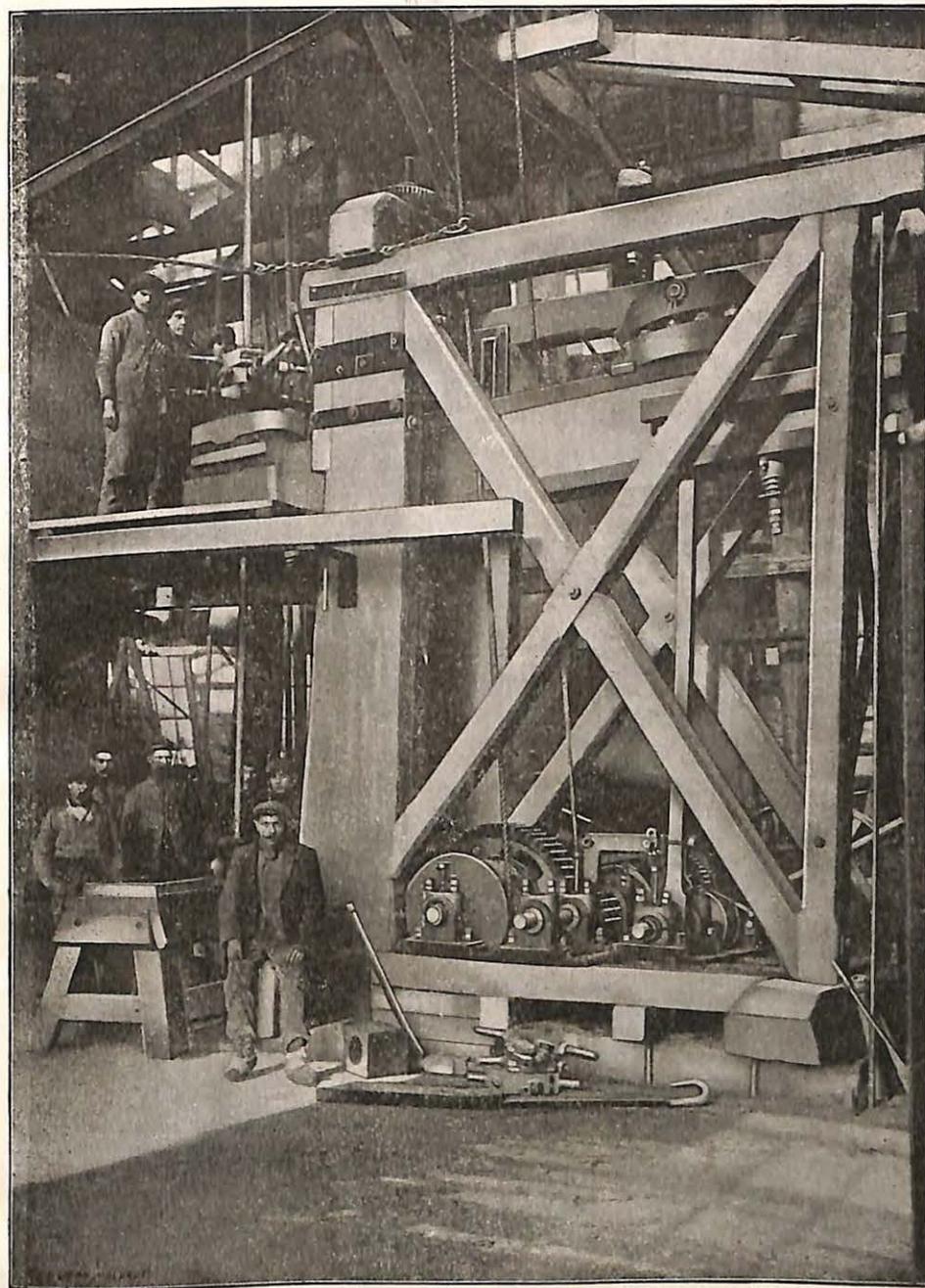
A partir de 584 mètres, le creusement fut repris au diamètre de 8,80 mètres en s'élargissant de façon à avoir, à 588,50 mètres, un diamètre de 10 mètres. De plus, un noyau central fut laissé en forme de tronc de cône renversé. Dans la rainure circulaire furent placés les 60 tubes-guides de 8" 1/2 (196-216 millimètres). Afin que ces tubes fussent bien dans leur position géométrique, deux gabarits composés chacun de trois circonférences en C furent placés aux deux extrémités de l'excavation tronconique et chaque tube était assujéti par un collier aux deux gabarits. Le tout ayant été tracé au jour, il a suffi d'orienter convenablement ces deux gabarits l'un par rapport à l'autre et l'on était sûr ainsi que les tubes étaient bien dans la position voulue.

Les tubes étaient de plus engagés à leur base dans une potelle tronconique de 50 centimètres de profondeur.

Ces potelles furent alors cimentées. Au-dessus, le long des trois circonférences en C formant le gabarit de base, furent adaptés trois serpentins circulaires en tubes de 40-50 dont les extrémités se redressaient verticalement jusque dans la chambre de travail. De plus, toute l'excavation sur le plan de ces serpentins fut remplie de ferrailles noyées dans le béton (pl. XVI, fig. 1). Nous avons ainsi constitué un plan éminemment conducteur du froid que nous pouvions au besoin lancer dans les serpentins, au cas où notre bouchon aurait eu à travailler et où un défaut d'étanchéité eût été révélé. Les tubes de 8" 1/2 étaient frettés, afin d'augmenter l'adhérence au béton armé dont la fosse circulaire fut remplie.

Deuxième opération. — Pose des tubes de captage.

Le soin donné à ce bouchon pour en augmenter la résistance n'était qu'un surcroît de précaution, car le bouchon était constitué par le terrain lui-même, cette marne imper-



Treuil de sondage de la Société Tréfor.

méable dans laquelle nous nous trouvions et qui s'étendait jusqu'à 608 mètres, à la tête des sables. Il suffisait donc que nos tubes de captage, enfoncés dans cette marne, fussent bien soudés au terrain, afin de ne laisser place à aucune fuite.

Sur un plancher, à 581 mètres, nous installions deux petits treuils à air comprimé, deux petites pompes et deux chariots de rotation, et nous forions, à la couronne de diamants, les sondages jusqu'à 604 mètres, soit à 4 mètres, au-dessus des sables. Nous descendions alors une colonne de 7" (167,5-178) de 20 mètres de longueur de 584 à 604 mètres et nous faisons une injection de ciment entre le tube et le terrain (pl. XV, fig. 1).

Pour faire cette injection, nous opérions de la façon suivante :

Nous descendions à l'intérieur du tube de 7" un tube d'injection de 40-50 jusqu'à quelques centimètres du fond du trou. Ce tube d'injection traversait à la partie supérieure la cloche fixée sur le tube de 7" et était mis en communication avec une pompe injectant d'abord de l'eau pure qui nettoyait ainsi l'espace annulaire compris entre le tube et le terrain. Quand l'eau sortait limpide, on pompait alors un lait de ciment épais (25 % de ciment) et quand le ciment revenait bien épais par l'espace annulaire à la partie supérieure, on arrêtait.

Quelques jours après, on essayait le joint à la pompe de compression que l'on montait à 100 kgs. Tous les joints furent réussis du premier coup.

Afin d'être à l'abri de toute surprise et d'éviter un coup d'eau toujours à craindre en sondant dans un terrain mal connu, nous avons eu la précaution de sonder à travers un presse-étoupes et de munir la tête de notre carottier d'un clapet de retenue (pl. XVI, fig. 1).

Troisième opération. — Creusement des sondages à travers les sables et pose des congélateurs.

Les têtes de sondage étant ainsi préparées, il restait à traverser ces sables soumis à la pression du 63 atmosphères.

Afin d'équilibrer la pression, nous opérions du jour à l'intérieur d'une colonne d'équilibre fixée aux parois du puits et adaptée successivement à chaque sondage. La colonne étant remplie d'eau lourde, on battait au trépan ou l'on forait à la couronne jusqu'à la profondeur de 640 mètres, puis on descendait la colonne de congélateurs dont l'extrémité supérieure dépassait un peu la tête du tube de 8" 1/2. On faisait un joint entre le congélateur et le 8" 1/2. On pouvait alors déconnecter la colonne d'équilibre et la fixer sur le sondage suivant.

Cette troisième opération étant la plus délicate, nous allons en décrire les détails.

Colonne d'équilibre.

La colonne d'équilibre était constituée par des tubes en acier de 215-235 soudés par recouvrement, ayant 10 millimètres d'épaisseur et 5 mètres de longueur environ. Chaque tronçon était assemblé au suivant au moyen d'un manchon extérieur fileté de 300 millimètres de hauteur. L'étanchéité du joint était assurée par l'écrasement d'une bague de plomb placée entre les deux extrémités des tubes taillés en biseau.

A l'intérieur de cette colonne, une seconde colonne de 8', constituée par des tubes ordinaires de sondage, a été descendue sur les 200 mètres de base. La colonne extérieure a été placée en montant à l'aide d'un plancher suspendu et chaque joint était essayé à la pompe de com-

pression. La colonne intérieure fut descendue du jour à l'aide des tiges de sondage. L'extrémité inférieure de cette colonne intérieure venait s'asseoir sur un collet vissé dans la colonne extérieure (pl. XVI, fig. 2).

La colonne d'équilibre ainsi constituée était fixée aux parois du puits à l'aide de colliers de suspension adaptés aux boulons de cuvelage. Outre ces colliers placés tous les 15 mètres, des tirants, capables de supporter tout le poids de la colonne, étaient fixés tous les 50 mètres. Trois colonnes d'équilibre furent ainsi placées, afin de pouvoir forer trois sondages en même temps (pl. XV, fig. 4 et 5).

Adaptation de la colonne d'équilibre sur les têtes de sondage.

L'extrémité supérieure des tubes guides de 8" 1/2 emprisonnés dans le béton est un bout femelle fileté dans lequel vient se visser un tronçon de tube de 1.50 mètres environ, terminé par un plateau. C'est sur ce plateau qu'on adapte la colonne d'équilibre venant du jour par l'intermédiaire d'un manchon de réglage formé de deux tubes télescopiques permettant d'allonger et de raccourcir la colonne. L'accouplement et le découplage de la colonne d'équilibre s'effectuent ainsi sans avoir à mouvoir la colonne elle-même (pl. XVI, fig. 2 et 3).

Pour passer d'un sondage à un autre, il suffit de desserrer les colliers sur les 50 mètres de la base de la colonne. Nos 60 sondages ont été faits sans avoir à déplacer les colonnes d'équilibre à une plus grande hauteur et la déviation que prenait ainsi chaque colonne à sa base n'a gêné en rien les opérations.

Creusement du sondage.

La colonne d'équilibre étant fixée sur un sondage, on le remplissait d'eau lourde et l'on traversait au trépan les

sables et les huit premiers mètres du terrain houiller, soit jusqu'à 630 mètres. De 630 à 640 mètres, on forait à la couronne de diamant. L'expérience nous a amené à agir de la sorte. L'emploi unique de la couronne à diamants conduisait à une perte de pierres exagérée dans la traversée des sables, car ceux-ci usaient le porte-diamants et les pierres s'échappaient.

D'autre part, le trépan, dans le houiller sain de 630 à 640 mètres, donnait un avancement trop lent et des ruptures fréquentes des tiges de sondages; c'est pourquoi cette passe se faisait par rodage et non par battage.

Descente de la colonne des tubes congélateurs.

Le creusement une fois terminé, on descendait une colonne de tubes congélateurs d'une longueur telle que le fond Field se trouvât à 2 mètres environ au-dessus du fond du trou et l'extrémité supérieure à une cote déterminée au-dessous du bord supérieur du tube-guide de 8" 1/2. Pour atteindre ce résultat, on munissait, à la hauteur voulue, la colonne des tubes congélateurs d'un manchon garni de plomb, tourné légèrement conique, qui s'engageait et s'arrêtait dans la tête du tube de captage se trouvant à 500 millimètres environ en dessous de la tête du tube-guide. De cette façon, le tube congélateur se plaçait exactement à la hauteur voulue et de plus il était centré dans l'axe du trou, ce qui avait la plus grande importance pour la pose ultérieure du presse-étoupes (pl. XVI, fig. 2 et 4).

Afin que le centrage du tube congélateur fût parfait et que le presse-étoupes puisse être engagé avec la plus grande facilité, nous avons placé en outre sur le tube à bride extérieure trois vis de centrage à l'aide desquelles nous amenions le tube congélateur rigoureusement à la position qu'il devait occuper (pl. XVI, fig. 2 et 3).

Joint définitif entre le tube congélateur et le tube-guide de 9" 1/4.

Ce joint était constitué par un presse-étoupes très robuste vissé dans le manchon formant l'extrémité du tube-guide de 8" 1/2. Mais pour placer ce presse-étoupes, il fallait déconnecter au préalable la colonne d'équilibre, ce qui ne pouvait être pratiqué, puisque les sables étaient à découvert et exerçaient leur pression de 63 atmosphères.

Joint provisoire par la congélation.

Pour vaincre cette difficulté, nous avons employé avec plein succès le procédé suivant : en dessous de la place où le presse-étoupes devait être fixé, nous adaptions autour de la colonne une chambre métallique pouvant contenir environ 140 litres de chlorure (pl. XVI, fig. 2 et 3). Cette chambre était munie de deux tubulures l'une à la base, l'autre au sommet. Nous descendions alors dans des cuffats de la saumure refroidie à -30° et nous établissions dans la chambre circulaire une circulation très lente de cette saumure (pl. XVI, fig. 4). Au bout de quelques heures, nous avions formé entre le tube congélateur et le tube extérieur un anneau de glace qui formait un joint à toute épreuve. Nous vidions alors la colonne d'équilibre, nous la déconnections et placions tout à notre aise le presse-étoupes, après avoir introduit autour du congélateur un tube de 7" destiné à caler celui-ci sous le presse-étoupes, et avoir rempli de ciment l'espace annulaire libre compris entre le dessus du manchon d'arrêt et la tête du tube de 8" 1/2 (pl. XVI, fig. 4). On arrêtait alors la circulation du froid et l'on passait à un autre sondage. Ce joint provisoire, très facile à constituer, a été d'une efficacité absolue et n'a donné lieu à aucun mécompte.

Nombre de colonnes d'équilibre.

Trois colonnes d'équilibre furent établies dans le puits de façon à pouvoir forer trois sondages simultanément. Chaque appareil faisait un sondage par semaine, y compris la mise en place des tubes congélateurs et la pose du presse-étoupes.

Comme il a été dit plus haut, il suffit de libérer les colonnes d'équilibre sur les 50 mètres de base pour adapter la colonne successivement à chaque sondage, grâce au manchon télescopique d'accouplement et à un jeu de trois tubes de tête des colonnes-guides de 8" 1/2.

Sondage central.

Un sondage a été pratiqué au centre du puits pour deux raisons :

1° Pour permettre l'évacuation de l'excès d'eau due à la progression de la congélation, dès que le rempart circulaire sera soudé ;

2° Pour permettre de suivre l'abaissement de température.

Dans ce but, le sondage fut poussé jusqu'à la tête du houiller ; un tube congélateur de 112-130, ouvert à sa base et perforé, y fut descendu et un second tube de 60-70 fermé à sa base fut placé dans le précédent (pl. XVII, fig. 1). Dans ce dernier tube, rempli de saumure, sera descendu le thermomètre permettant de suivre l'abaissement de température. Par l'espace annulaire compris entre les deux tubes circulera l'eau provenant de la progression de la congélation, eau qui sera expulsée par le robinet R'. Ce robinet étant fermé au début de l'opération, le manomètre M, qui marque 63 kgs, doit monter dès que la soudure du rempart sera obtenue. Aussitôt qu'on le verra, on ouvrira le robinet de décharge.



Couronnes collectrices et raccords aux têtes de sondages

Plancher-réservoir.

Une fois les sondages terminés, un plancher très solide fut placé dans le puits, à 10 mètres, au-dessus des têtes de sondage, dans lequel une ouverture fut ménagée pour le passage des cuffats (pl. XV, fig. 6). Cette ouverture était munie d'un garde-corps en maçonnerie de 1,50 mètre de hauteur. Le plancher lui-même était également bétonné de façon à être étanche. De plus, l'ouverture pour les cuffats était munie d'un couvercle en tôle roulant sur rails et que l'on pouvait mouvoir d'un plancher de manœuvre placé à 2 mètres au-dessous du précédent.

Le fond du puits était alors complètement à l'abri des eaux et l'épuisement se faisait du plancher de manœuvre ou, à l'aide d'une vanne et d'un flexible, on remplissait les cuffats.

Couronnes collectrices.

Les couronnes collectrices furent placées avec le plus grand soin. Toutes les connexions avec les tubes congélateurs étaient essayées à la pression de 100 kgs, ainsi que celles avec les conduites de saumure.

Colonnes conductrices de la saumure.

Deux des colonnes d'équilibre furent laissées dans le puits et utilisées comme tubes d'amenée et de retour de la saumure. La vitesse de circulation dans les tubes intérieurs des congélateurs étant amenée à 1,50 mètre par seconde, nous avons ainsi un débit pour les pompes à chlorure de 405 mètres cubes heure.

Vannes et clapet de retenue.

Les deux tuyauteries d'amenée et de retour de la saumure étaient munies à leur partie inférieure d'une vanne à

portée d'un plancher fixe permettant, en cas de rupture d'un organe des couronnes collectrices, d'isoler le contenu des colonnes. Un clapet de retenue automatique était fixé à la colonne de retour (pl. XV, fig. 6).

Contraction des colonnes d'amenée et de retour de saumure.

Par le refroidissement, ces colonnes doivent pouvoir se contracter de 20 centimètres environ. Pour éviter l'installation de joints de dilatation, nous suspendons les colonnes à leur tête au moyen de deux forts carcans posés sous un manchon (pl. XVII, fig. 3). Chaque extrémité du carcan supérieur est reliée au crochet de traction d'un dynamomètre hydrostatique de 25 tonnes, dont l'étrier de fixation est accroché à une tige filetée permettant de laisser descendre la colonne des 20 centimètres nécessaires et éventuellement de la relever.

Le carcan inférieur est un carcan de sûreté permettant d'isoler, en cas de besoin, la suspension dynamométrique.

Les colonnes de saumure sont reliées aux collecteurs d'amenée et de retour venant de la salle de machines par l'intermédiaire de tuyaux flexibles.

Avant la mise sous froid, on réglera la suspension de façon que chaque colonne, qui pèse 40 tonnes, repose par moitié de son poids sur sa base, l'autre moitié étant reportée à sa tête. Au fur et à mesure du refroidissement, qui produira une augmentation de la tension des dynamomètres, on desserrera les écrous de suspension pour maintenir constantes les indications de ceux-ci.

En outre, tous les 10,50 mètres un guide en deux pièces permettant le coulissage de la colonne sera installé.

A la date à laquelle cette note est rédigée, les sondages sont terminés dans les deux puits. Les couronnes collectrices sont placées au puits n° 1, raccordées aux conduites

d'arrivée et de départ de la saumure et mises sous la pression de la colonne d'eau de 600 mètres. Tout est donc prêt pour lancer le froid dans le terrain et six mois suffiraient pour mettre les puits dans le houiller. Mais l'impossibilité dans laquelle nous nous trouvons de nous procurer du cuvelage nous oblige à l'arrêt.

Le travail qui reste à faire n'offre plus de difficultés. La partie délicate consistait dans l'exécution dans chaque puits des 60 sondages contre la pression.

Les sondages ont été exécutés avec le matériel de la Société Tréfor, de Bruxelles, et le concours de son ingénieur M. PHILIPPE. La Société Tréfor a travaillé en régie pour le compte de la Société de Beeringen.

Pour mener à bien ce travail, j'ai trouvé une aide précieuse dans la collaboration de nos ingénieurs, MM. LECOMTE et TISSIER, à l'intelligence et au dévouement desquels je tiens à rendre hommage.

BEERINGEN, le 15 janvier 1918.

NOTE ADDITIONNELLE

(Novembre 1919)

Le froid a été lancé sur le puits n° 1 à la date du 5 mars et il a été lancé en même temps sur l'ensemble des 60 tubes congélateurs. Nous avons débuté avec une puissance frigorifique nominale de 300,000 frigories/heure et un débit de pompe de 140 m³ heure. Afin de refroidir graduellement nos colonnes et nos couronnes collectrices, nous avons commencé la circulation avec un courant de saumure à la température extérieure et nous refroidissions cette saumure par addition de saumure refroidie. Nous arrivions ainsi, au

bout de 5 jours, à une circulation de liquide froid partant à $-5^{\circ}8$ et revenant à $-3^{\circ}1$. Le 24 mars, ces mêmes températures étaient de $-11^{\circ}1$ et de $-8^{\circ}8$. Le 24 mars, nous augmentions la puissance frigorifique à 600,000 f/h. et nous obtenions ainsi une circulation à $-20^{\circ}1$ et à $-17^{\circ}9$ au retour. Le 31 mars nous constatons la fermeture du mur de glace à l'aide du manomètre placé sur le sondage central. Le thermomètre placé dans le sondage central était descendu de $+27^{\circ}$ à $+4^{\circ}4$.

Les colonnes d'arrivée et de retour de la saumure s'étaient contractées de 150 millimètres ou du moins pour suivre la contraction, qui était indiquée par les dynamomètres, nous avons dû agir sur les verins pour descendre la colonne de 150 millimètres. Pendant toute l'opération ces dynamomètres ont été d'une sensibilité remarquable. Chaque variation de la température de la saumure, si faible soit-elle, était décelée par l'aiguille du dynamomètre. Nous avons pu ainsi éviter toutes fuites aux joints de nos colonnes. Le manomètre et le thermomètre installés sur le sondage central nous ont permis de suivre la progression de la congélation jour par jour.

Nos colonnes d'amenée et de départ de la saumure qui n'étaient pas calorifugées se sont couvertes immédiatement d'une carapace de givre qui formait une protection très efficace contre les pertes de froid. L'écart de température de la saumure au sommet et à la base de la colonne n'a jamais dépassé $1/2$ degré. Tout se passait conformément à nos prévisions, lorsque le 5 avril nous constatons que nos tubes congélateurs se soulevaient entraînant avec eux les couronnes collectrices. Le mouvement d'ascension continu qui se faisait à raison de 1 millimètre par jour et qui, au total mesura 120 millimètres eût pour effet de cisailer les congélateurs.

En effet, la marne et les sables herviens subissaient,

sous l'influence du froid, un gonflement qui avait pour effet de soulever la masse congelée dans le puits, qui était la seule issue à cette expansion.

Les tubes congélateurs étaient ainsi étirés de bas en haut et à un moment donné, se rompaient par cisaillement ou s'arrachaient au filetage d'un manchon d'accouplement. Les tubes de captage et même les tubes-guides se comportèrent de la même façon. L'effet ne fut pas aussi grave qu'on pourrait l'imaginer. En effet, la saumure ne se répandit pas dans le terrain, nous ne constatâmes des fuites qu'au sommet des congélateurs ou dans les marnes au moment où le creusement atteignait le niveau de la rupture.

Le terrain était fortement gelé au moment de la rupture du congélateur et ce terrain gelé formait autour du tube rompu une enveloppe solide qui empêchait le courant de saumure de s'évader de son parcours normal. Après avoir commencé le creusement le 10 juin dans les marnes, nous constatons que le mouvement d'ascension de notre masse s'arrêtait, mais que l'excavation creusée tendait à se refermer. Nous dûmes alors poser le cuvelage en descendant dans la marne également. Afin de parer à toutes chances d'accidents, nous descendîmes des tubes congélateurs de secours, non seulement dans les colonnes où nous avions constaté des ruptures, mais aussi dans tous les autres sondages.

La colonne de secours ainsi placée se trouve n'avoir de contact, avec le congélateur primitif, que par l'intermédiaire de la saumure qui remplit l'espace annulaire. Elle n'est donc affectée par aucun mouvement du terrain et toute chance de rupture est ainsi annihilée. Aussi allons-nous faire cette opération au puits n° 2 avant de commencer la congélation du puits et de cette façon nous comptons gagner les deux mois que nous avons perdus de ce fait au

puits n° 1, sans compter les six ou sept semaines que nous gagnerons en plus grâce au fruit de notre expérience. A part cet incident, tout s'est passé conformément à nos prévisions. Afin d'expulser toute l'eau en excès provenant de la congélation, nous avons retardé la prise du centre du puits en faisant une circulation chaude dans le sondage central que nous avons arrêtée quand tout excès d'eau avait disparu. Nous avons placé le cuvelage intérieur en descendant dans les marnes jusqu'à la profondeur de 603 mètres.

A partir de ce point nous avons creusé en grande section et cuvelé en descendant avec le cuvelage extérieur. Nous coupions au chalumeau, tous les deux mètres, les dix congélateurs de la couronne centrale qui avaient été mis hors circuit dès le commencement du creusement.

Nous avons trouvé les sables parfaitement gelés à une température minima de 25 degrés en dessous de zéro.

Pour obtenir ce résultat nous avons atteint une circulation de saumure à la température de -30° au départ et $-29^{\circ}5$ au retour.

Le contact avec le houiller n'a présenté aucune particularité et nous trouvions à un mètre en dessous du houiller, soit à 623 mètres une couche très régulière de charbon pur de 0^m500 d'épaisseur.

A l'heure où nous écrivons ces lignes, le puits est cuvelé jusqu'à 628 mètres, soit 6 mètres dans le houiller qui est, à cette profondeur, composé de schistes très sains.

Nous avons malgré cela, convenu de descendre le cuvelage extérieur jusqu'à 635 mètres, puis de creuser en terre nue jusqu'à 645 mètres et poser à cette cote la trousse sur laquelle sera monté le cuvelage intérieur qui ira se raccorder à 603 mètres au cuvelage qui avait été placé en descendant dans les marnes.

Beeringen, le 8 novembre 1919.