

NOTES DIVERSES

NOTE SUR LE FONÇAGE

DES

Nouveaux puits de l'Héribus, du Levant de Flénu

à Cuesmes

PAR

M. GUÉRIN,

Ingénieur au Corps des Mines, à Mons (1)

La Société anonyme des Charbonnages du Levant du Flénu est propriétaire des concessions du Levant du Flénu et du Haut-Flénu, d'une superficie totale de 2,384 hectares, et de la concession de Belle-Victoire, d'une superficie de 2,373 hectares. Elle exploite depuis longtemps les deux premières, par cinq puits situés à proximité de l'esponte couchant, là où les morts-terrains n'ont qu'une épaisseur relativement faible.

La concession du Levant du Flénu ayant approximativement 4 kilomètres de largeur Est-Ouest, l'érection d'un nouveau siège fut décidée pour la mise à fruit de la partie Est de la concession. Dans ce but, la Société acheta un bloc de 46 hectares de terrain, au mont Héribus, à proximité du chemin de fer de l'Etat, à mi-distance entre les stations de Cuesmes et de Hyon-Ciply.

Le nouveau siège disposera d'un champ d'exploitation étendu, environ 1,500 mètres dans les quatre directions. Toutes ces installations seront prévues avec les derniers perfectionnements, pour une extraction journalière de 1,000 tonnes.

Un sondage de reconnaissance exécuté en 1906, au peu au Nord-Ouest des futurs puits, donna la coupe suivante des morts-terrains :

(1) Qu'il me soit permis de remercier ici M. Deharveng, directeur-gérant des Charbonnages du Levant du Flénu et MM. Goffart et Hublet, respectivement ancien-administrateur-directeur et directeur actuel de la Société de fonçage de puits Franco-Belge, pour l'amabilité avec laquelle ils m'ont communiqué les renseignements qui m'ont servi à la rédaction de la présente note. M. G.

	Épaisseur mètres	Profondeur atteinte mètres
Argile	4	4
Sable landennien	20	24
Tuffeaux de Ciplly et de St-Symphorien.	66	90
Craie grise phosphatée de Ciplly	66	156
Craies blanches	164	320
Craie verdâtre	2	322
Rabots (silex).	5	327
Fortes-toises (marnes)	4	331
Dièves (marnes plastiques)	2	333
Tourtia de Mons (marnes avec cailloux roulés)	1	334

A part l'argile superficielle, ce sondage traversa d'abord jusque 156 mètres du sable, du tuffeau et de la craie grise phosphatée, c'est-à-dire des roches perméables en petit et éminemment aquifères. Ensuite, il recoupa jusque 327 mètres, une importante formation de craies probablement très compactes et non aquifères, sauf peut-être dans la partie supérieure et à la base. Et enfin, il reconnut de 327 à 334 mètres, les assises marneuses qui forment le manteau imperméable ordinaire du terrain houiller du Borinage.

D'autres sondages exécutés par la suite confirmèrent l'importance des morts-terrains qui recouvrent la concession du Levant du Flénu, en dehors de la butte du Flénu où les anciens puits sont établis. Sur le plan ci-joint (fig. 1), j'ai indiqué la position de ces différents sondages, ainsi que la cote de leur orifice par rapport au niveau de la mer et la profondeur à laquelle le terrain houiller a été atteint (1).

En présence d'une telle épaisseur de terrains aquifères, on ne pouvait songer au creusement à niveau vide. La discussion pour le choix du système de fonçage se borna à deux procédés : la congélation et la cimentation. Le succès de la congélation des morts-terrains ne faisait aucun doute, tandis que la présence de roches perméables en petit, telles que les tuffeaux, laissait très douteux le succès d'une cimentation. La congélation offrait donc plus de garanties que la cimentation et elle fut adoptée, quoique son prix de revient fut plus élevé.

(1) M. J. Cornet a publié récemment dans le tome XL des *Annales de la Société géologique de Belgique*, une coupe Ouest-Est des morts-terrains allant de Cuesmes à Saint-Symphorien et passant à proximité du siège de l'Héribus.

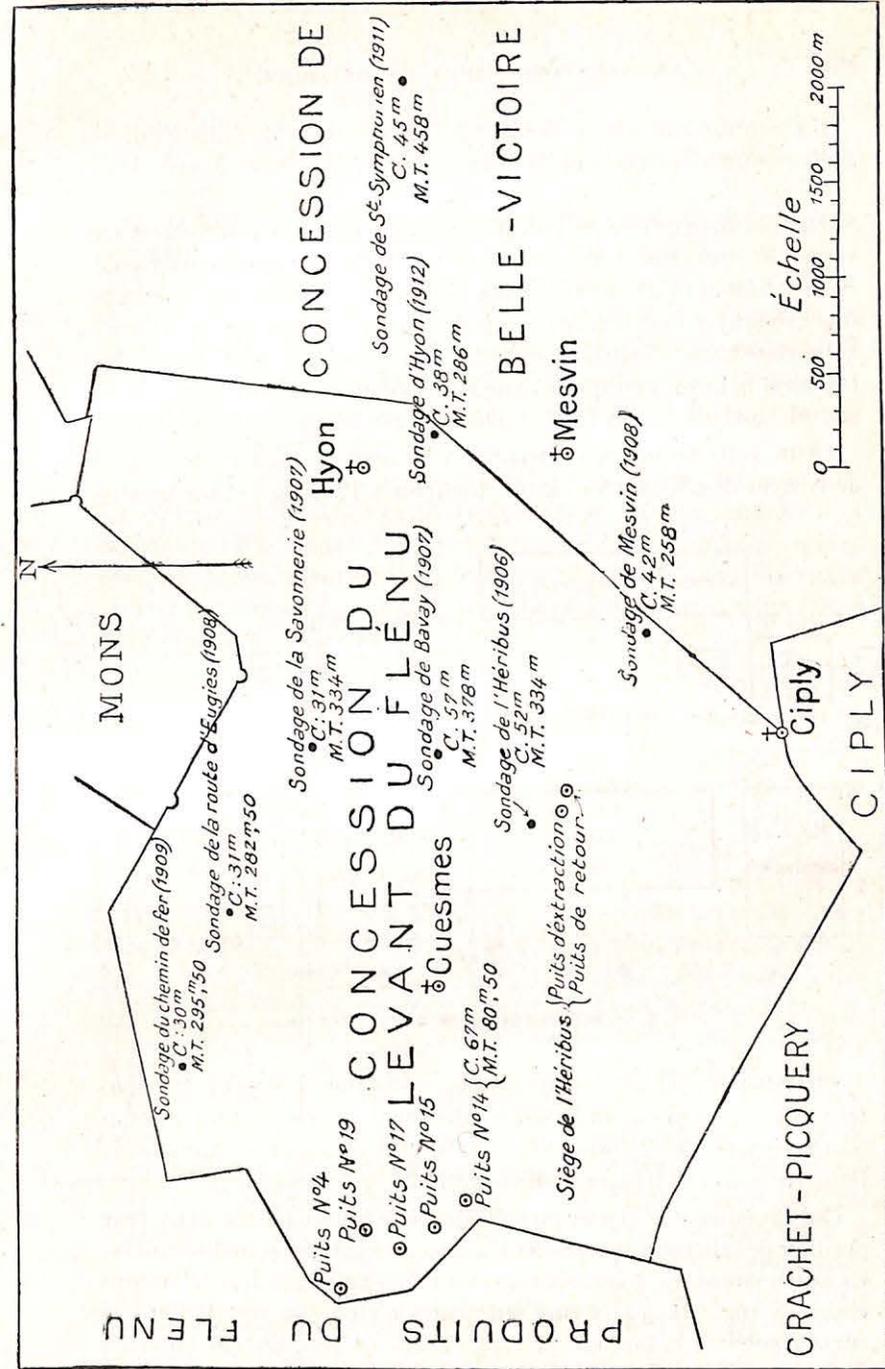


FIG. 1. — Plan de la concession du Levant du Flénu.

Un contrat fut passé avec la Société de fonçage de puits Franco-Belge, pour le creusement de deux puits de 5 mètres de diamètre.

Dans la note qui va suivre, je passerai d'abord successivement en revue le creusement des avant-puits, le forage des sondages de congélation et les installations frigorifiques et j'aborderai ensuite le fonçage proprement dit. Mais auparavant je donnerai quelques renseignements sur l'installation de force motrice que, dès l'origine des travaux, le Levant du Flénu commença à établir, en vue de satisfaire aux obligations qui lui étaient imposées par le contrat de fonçage.

Cette installation comprenait un groupe de quatre chaudières de Naeyer de 250 mètres carrés, timbrées à 12 kilog., et un groupe

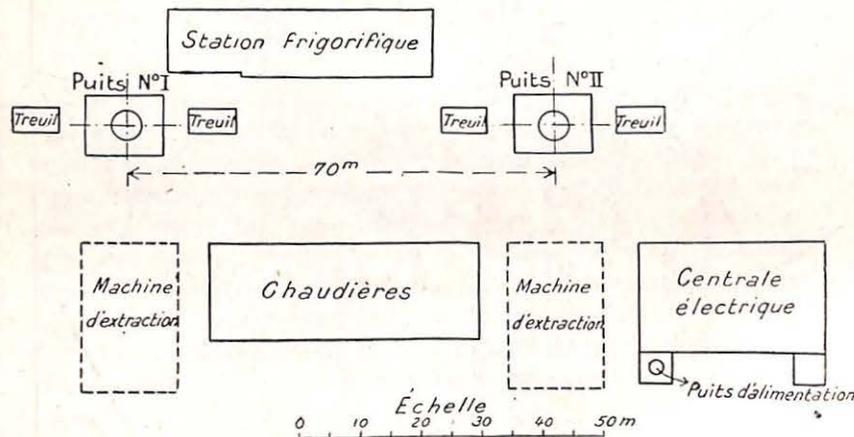


Fig. 2. — Schéma des installations de surface.

électrogène de 250 kw. composé d'une machine à vapeur horizontale des « Ateliers de la Meuse », attaquant directement un alternateur triphasé de 2,100 volts et 50 périodes, des « Ateliers de Constructions électriques de Charleroi ».

Ces chaudières et ce groupe électrogène furent placés dans leur position définitive et lorsque les travaux de sondages seront terminés, ils desserviront les divers services du nouveau siège. Sur le croquis ci-dessus (fig. 2), j'ai figuré en traits pleins, les installations de surface pendant le fonçage et en pointillé la position des halls des futures machines d'extraction.

L'énergie électrique produite sert :

- A l'éclairage des différents bâtiments et dépendances du nouveau siège ;
- A l'alimentation des moteurs pour les services accessoires de la centrale ;
- A l'alimentation d'un groupe moteur-pompe centrifuge de 60 chevaux qui fut installé au sondage de Mesvin et dont le rôle fut de refouler au château d'eau de la centrale, pendant toute la durée de la période de congélation des deux puits, l'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières et au refroidissement des condenseurs de la station frigorifique.

Les chaudières furent montées en 1909 et mises à feu en juin 1909. La centrale fut installée en 1908 et 1909 et mise en marche le 4 septembre 1909. Depuis lors, 3 chaudières ont été constamment sous pression, consommant par jour, environ 25 tonnes de charbon. Pour assurer le service de ces appareils, le Levant du Flénu disposait de deux équipes de 6 ouvriers.

CREUSEMENT DES AVANT-PUITS. — Au puits n° I, l'avant puits fut creusé simplement à

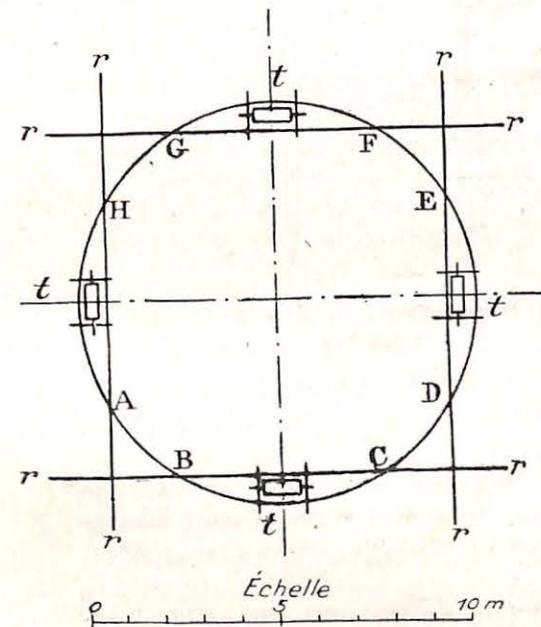


Fig. 3.

l'outil, avec revêtement provisoire en planches jointives, maintenues par des cercles en fer [de 12 centimètres de hauteur, distants d'axe en axe d'un mètre. Ces cercles étaient suspendus au moyen de fers spéciaux en A, B, C..., H, à 4 rails r qui prenaient appui sur le terrain. Dans les segments formés par ces rails, étaient installés 4 petits treuils t pour l'extraction des déblais (voir fig. 3).

Le creusement au diamètre de 10^m40 était précédé d'un sondage de reconnaissance de 5 centimètres de diamètre, fait à la tarière. Une couche de sable boulant ayant été ainsi reconnue à la profondeur de 9^m50, le creusement fut arrêté à la profondeur de 9 mètres.

L'avant-puits fut ensuite maçonné. On fit d'abord une maçonnerie de 1^m40 d'épaisseur dans laquelle on ménagea aux endroits désignés pour les sondages, des niches de 0^m30 × 0^m30. Les centres de ces carrés se trouvaient sur une circonférence de 9^m05 de diamètre. A 2 mètres de hauteur, on réduisit l'épaisseur de 1^m40 à 0^m45 (voir fig. 4), de façon à laisser une banquette de 0^m95 de largeur.

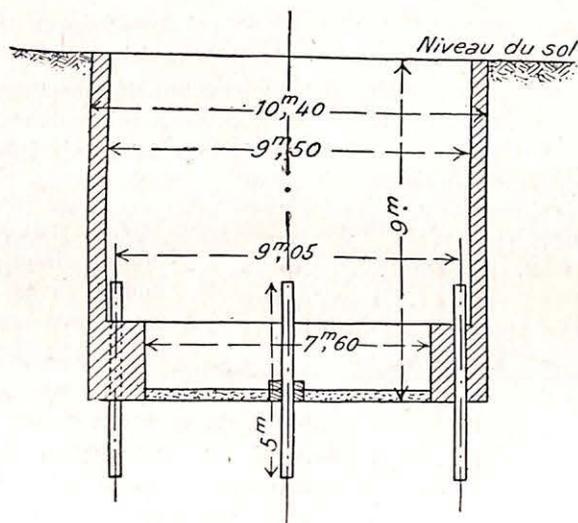


Fig. 4. — Coupe verticale par l'axe de l'avant-puits n° I.

Les tubes-guides de 10 1/2 pouces de diamètre et de 5 mètres de longueur, furent alors placés dans les niches réservées à cet effet dans la banquette de maçonnerie.

Au centre du puits, on installa également un tube-guide analogue aux autres, pour l'exécution du sondage central, lequel sondage devait permettre de suivre les variations du niveau d'eau, pendant la congélation.

Le creusement dura du 1^{er} juin au 18 juillet 1908 et la maçonnerie du 18 juillet au 10 août 1908.

Au puits n° II, l'avant-puits fut creusé comme le premier, jusqu'à la profondeur de 9 mètres. Un sondage exécuté à ce moment au centre du puits fit reconnaître exactement les deux couches de sable bouillant, l'une de 10^m40 à 11 mètres, et l'autre de 16^m50 à 17 mètres, qui avaient causé beaucoup d'ennuis, lors de l'exécution des sondages du puits n° I. Afin d'éviter la reproduction de ces ennuis, on décida d'essayer au n° II, la traversée de ces deux niveaux de bouillants.

Pour passer à travers le premier, on eut recours à une trousse coupante en fonte, après avoir au préalable foré quatre petits sondages de faible diamètre destinés, avec le sondage central de reconnaissance, à drainer les eaux du premier bouillant dans le second. La trousse coupante sur laquelle était érigée une certaine hauteur de maçonnerie, descendit sans incident jusqu'à 14 mètres. A ce moment, des décollements horizontaux apparurent dans la maçonnerie, ce qui fit arrêter la descente de la trousse.

Contrairement au premier, le deuxième bouillant se trouvait en-dessous du niveau hydrostatique; celui-ci se trouvait vers 15 mètres de profondeur. Son assèchement ne pouvait donc se faire sans le secours de pompes. L'exécution d'un puits à faible diamètre au fond duquel on espérait placer la pompe d'assèchement, fit reconnaître que le deuxième bouillant était déjà drainé; la chose avait été faite par la pompe d'alimentation des chaudières et des sondages, qui débitait une vingtaine de mètres cubes à l'heure et qui se trouvait installée sur un puits à 40 mètres environ de l'avant-puits n° II.

Le creusement de l'avant-puits s'effectua ainsi sans difficulté, jusque sur le tuffeau à 17 mètres de profondeur. Les terrains traversés par cet avant-puits se présentaient comme-suit :

	Base à
<i>Yprésien</i> : Sable roux argileux	7 mètres
<i>Landennien</i> : Sable vert	10 ^m 40
Sable bouillant	11 mètres
Sable vert, argileux, aggloméré	13 ^m 30
Sable noirâtre, argileux, compact	16 ^m 50
Silex avec sable bouillant	17 mètres

Tuffeau de Ciply.

La maçonnerie fut ensuite achevée sans incident; commencé le 14 décembre 1908, le creusement de cet avant-puits ne fut terminé que le 31 mars 1909 et l'exécution de la maçonnerie dura du 1^{er} avril au 10 mai 1909.

SONDAGES DE CONGÉLATION. — Dès que l'avant-puits n° I fut terminé, les abords du puits furent aménagés pour recevoir les tours de sondage ; dans ce but, le sol fut recouvert autour de l'avant-puits, jusqu'à 10 mètres du centre, d'un radier de béton de 0^m50 d'épaisseur. Des rails noyés dans ce radier dépassaient le béton et avançaient jusqu'à proximité du centre du puits. Les trois tours de

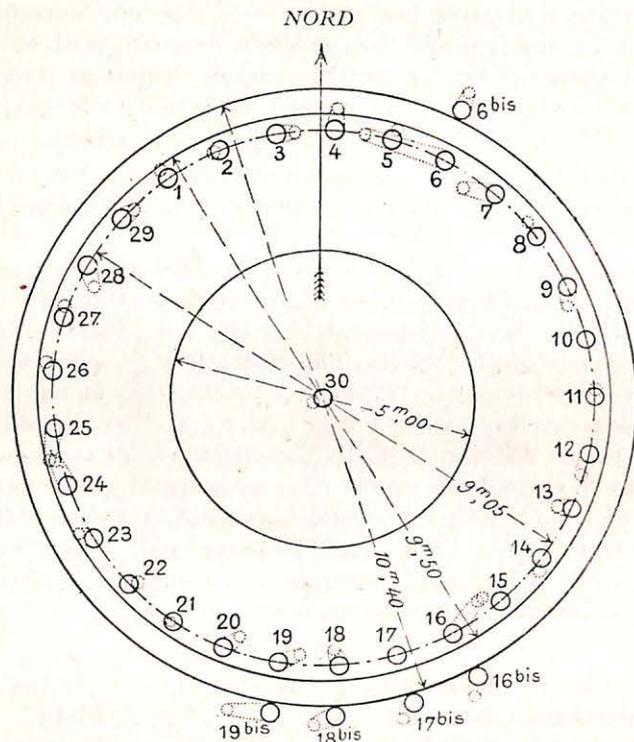


Fig. 5. — Croquis des déviations des sondages du puits n° I.
Echelle 1 : 100.

N. B. — 1° Le sondage n° 10 présentait une déviation brusque qui n'a pas permis de mesurer sa déviation totale.

2° Contrairement à ce que semble indiquer le croquis, les sondages nos 24 et 25 ne se sont pas rencontrés.

sondages reposaient sur ce radier par de fortes semelles garnies d'équerres.

Les sondages furent exécutés d'après le système Vogt (battage avec

injection d'eau), par la « Société de forage et prospection minière », actuellement la « Tréfor ». Le projet prévoyait par puits 30 sondages, dont un central, et 29 extérieurs répartis uniformément sur une circonférence de 9^m05 au puits n° I et de 8^m70 au puits n° II. A ce dernier puits, le diamètre fut réduit par suite de l'existence de la trousse coupante de l'avant-puits.

Les sondages furent forés jusqu'à l'affleurement des dièves, c'est-

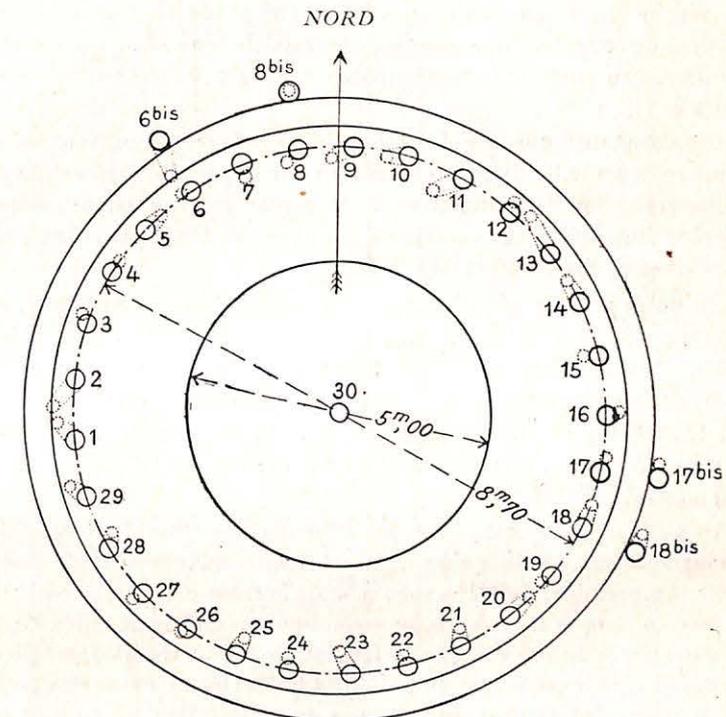


Fig. 6. — Croquis des déviations des sondages du puits n° II.
Echelle 1 : 100

à-dire jusque vers 317 mètres. Au cours du battage, des tubages provisoires, dont les diamètres variaient de 9 1/4 à 6 pouces, étaient descendus. Lorsqu'un sondage était terminé, on descendait la colonne extérieure du circuit de congélation. Après l'assemblage de chaque segment, on couvrait la colonne d'une calotte et on soumettait la colonne à la pression suffisante afin de vérifier l'étanchéité du joint qui venait d'être exécuté.

Lorsque la colonne de congélation était entièrement introduite dans le sondage, on retirait le tubage provisoire, puis on faisait glisser la tour avec tout son matériel, sans aucun démontage, jusqu'à l'endroit assigné pour l'exécution du sondage suivant.

L'avancement journalier en battage fut très variable; il atteignit parfois 60 mètres.

Divers incidents, tels que la rupture d'une colonne de congélation par le trépan, lors du battage d'un sondage voisin, où l'impossibilité de retirer un trépan calé ou encore l'arrêt de la descente d'une colonne de congélation, exigèrent le forage de cinq sondages supplémentaires au puits n° I et de quatre sondages supplémentaires au puits n° II.

Il va sans dire que les déviations des sondages furent soigneusement relevées. Elle furent déterminées par le procédé bien connu de la lanterne. Sur les figures 5 et 6, le cercle en trait plein indique l'orifice du sondage et le cercle en pointillé, l'endroit où la lanterne s'est arrêtée, entre 300 et 315 mètres.

En fin de compte, on utilisa pour la congélation, au puits n° I, les sondages 1, 2, 3, 4, 5, 6bis, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16bis, 17bis, 18bis, 19bis, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 et 29; et au puits n° II, les sondages 1, 2, 3, 4, 5, 6bis, 7, 8, 8bis, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 17bis, 18bis, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29; mais à ce dernier puits, 8 et 17, n'allèrent que jusque 305 et 260 mètres.

Au puits n° I, on commença le 23 septembre 1908, le battage du sondage central, tandis qu'au n° II, on débuta seulement le 27 juillet 1909. Au premier, puits la vapeur était fournie par une locomobile attachée à chaque tour, mais au second puits, elle était fournie par les chaudières de Naeyer que le Levant du Flénu venait d'installer.

Quand tous les sondages du puits n° I furent terminés, on descendit les colonnes intérieures des circuits de congélation et ensuite on monta dans la partie supérieure de l'avant-puits, les couronnes collectrices des circuits congélateurs.

Pendant qu'on exécutait ces sondages, on installait la station frigorifique.

STATION FRIGORIFIQUE. — Elle se composait de trois unités distinctes, installées entre les deux puits, dans un baraquement de 44 mètres de longueur sur 10 à 11 mètres de largeur. Deux unités

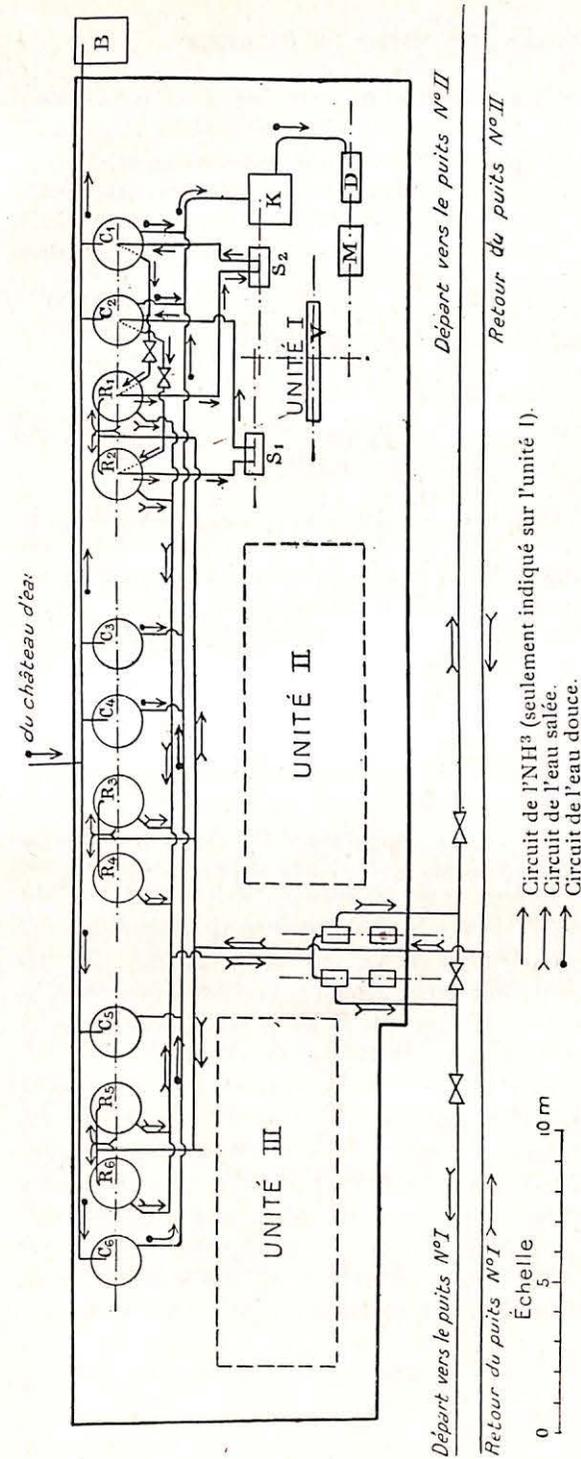


Fig. 7. — Schema de la station frigorifique.

- M, cylindre à vapeur.
- D, condenseur de la machine à vapeur.
- V, volant.
- S₁ et S₂, compresseurs d'NH₃.
- C, condenseur d'NH₃ (à quatre serpents).
- R, réfrigérant (à quatre serpents).
- P, pompe de circulation de l'eau salée.
- K, fosse d'injection où se réunissent les eaux douces des condenseurs d'NH₃ et où aspirent les condenseurs des machines à vapeur.
- B, bac de dissolution de CaCl₂.

pouvaient fournir chacune 120,000 frigories-heures et la troisième 132,000 (voir fig. 7).

Chacune d'elles comprenait d'abord une machine motrice avec condenseur et volant, dont les caractéristiques étaient les suivantes :

	Unités I et II.	Unité III.
Frigories-heures	120,000 × 2	132,000
Diamètre du piston à vapeur.	450 ^{m/m}	406 ^{m/m}
Course du piston	900 ^{m/m}	1,066 ^{m/m}
Nombre de tours par minute	75	65
Nom du constructeur :	Phœnix Nouveau, Cail, à Denain. à Gand.	

Ensuite deux compresseurs d'ammoniaque, deux condenseurs et deux réfrigérants.

Deux pompes à vapeur, dont l'une était de réserve, étaient intercalées dans le circuit et assuraient la circulation du liquide réfrigérant dans les colonnes de congélation. Ces pompes, du type Worthington, refoulaient à la pression de 10 kilog.

La solution de CaCl_2 en circulation dans les tubes congélateurs avait une densité de 1.23 à 1.25.

Les trois unités marchaient en quantité et les deux puits étaient en dérivation sur les conduites collectrices des machines. A part les périodes de mise en marche, la température de l'eau salée varia au départ entre -16 et -18° et au retour entre -11 et -13° .

CREUSEMENT DU PUIT N° I. — Au puits n° I, la congélation fut commencée le 10 mars 1910, et en une demi-journée, tous les circuits congélateurs purent être introduits successivement dans le circuit des machines frigorifiques. Du 10 au 17 mars, la congélation se fit par deux unités et à partir du 17, par trois unités.

Le 25 avril, l'eau montant dans le tube central plus haut que le niveau hydrostatique, on commença le curage de l'avant-puit. Ce curage fut terminé le 2 mai et l'enfoncement fut alors commencé avec trois postes de douze hommes. Vers la profondeur de 17 à 18 mètres, des fissures dans le mur de glace donnèrent lieu à une venue d'eau assez forte d'une part dans le voisinage des quatre sondages *bis* consécutifs n°s 16 à 19 et d'autre part à proximité des sondages n°s 10 et 11. Cette venue fit arrêter le fonçage le 10 mai, à 18^m60 de pro-

fondeur, soit à 4 mètres sous le niveau hydrostatique. Le puits fut alors rempli de pierrailles afin de diminuer le débit des fissures.

Afin d'activer la fermeture de ces fissures, fermeture qui semblait avancer trop lentement, on essaya la cimentation de la partie supérieure du tuffeau. Dans ce but, on exécuta et cimenta cinq sondages du 6 juin au 2 juillet. Ces sondages absorbèrent, par simple siphonage, 4,800 kilog. de ciment et 35,000 litres d'eau.

Quelques jours après la cimentation du dernier sondage, on constata, en vérifiant l'isolement de la nappe d'eau à l'intérieur du puits d'avec la nappe d'eau extérieure, que les fissures étaient bouchées.

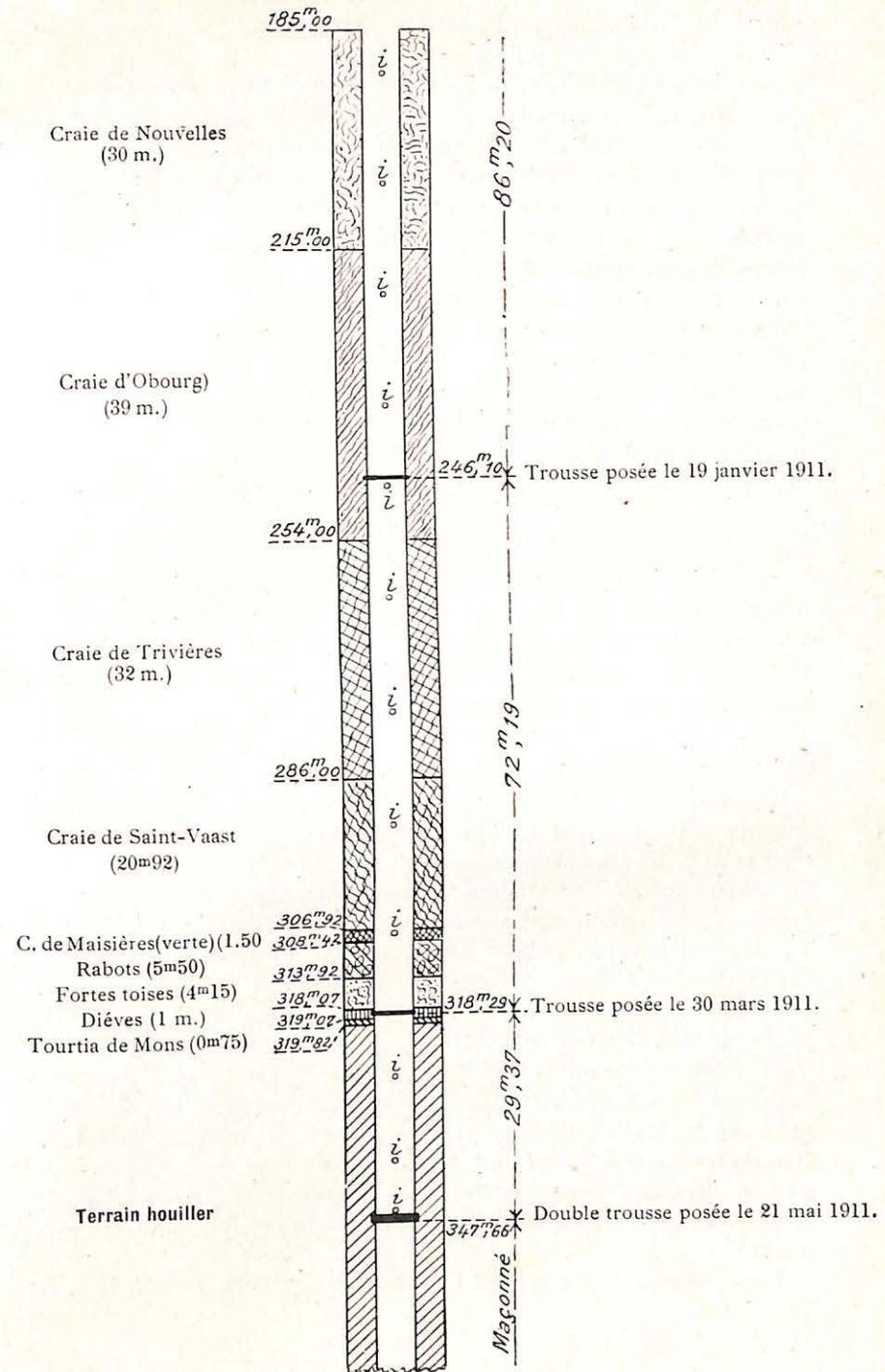
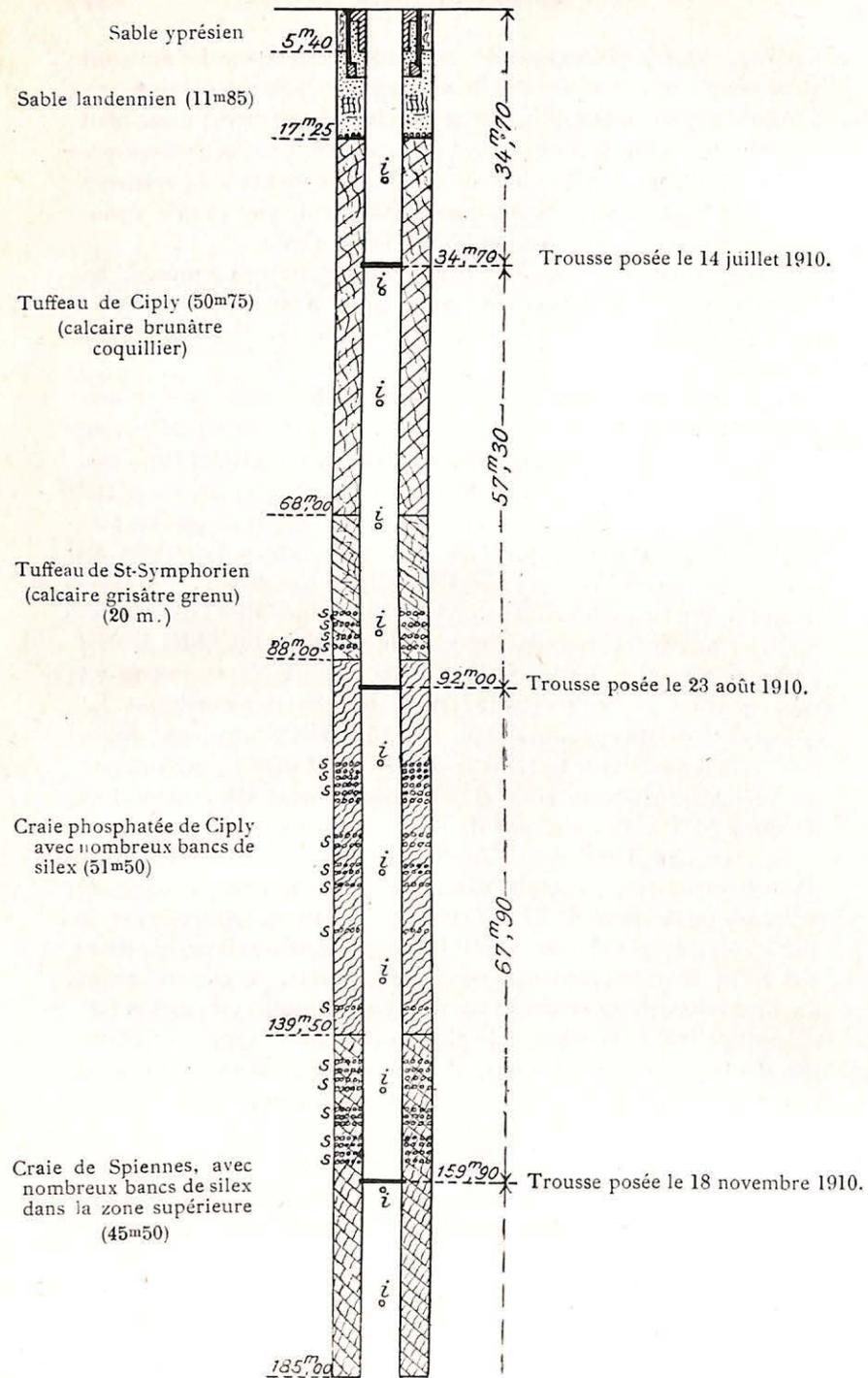
Le fonçage abandonné le 10 mai fut repris le 7 juillet. Le creusement se fit au pic jusque 22 mètres environ. A cette profondeur, on commença à miner, non pas parce que les terrains étaient plus durs, car la gelée n'apparaissait encore à ce moment que sur une partie du périmètre du puits, mais afin de réaliser des avancements plus grands. Dans la partie supérieure, seule la crainte d'ébranler les couronnes collectrices de la congélation installées dans l'avant-puits avait fait proscrire le minage. A 34^m70, la première trousse fut picotée dans le tuffeau de Ciplly et le cuvelage fut établi dans la partie déjà creusée. L'enfoncement reprit ensuite et se poursuivit sans incident à travers toute l'épaisseur des *morts-terrains*. La coupe des terrains jointe à cette note (fig. 8) montre d'une façon très nette les différents terrains traversés. A 81 mètres, apparurent les premiers bancs de silex et notamment celui très compact de 81^m30 à 81^m90. Ces rognons de silex, en bancs réguliers de 10 à 20 centimètres d'épaisseur, étaient abondants dans le tuffeau de Saint-Symphorien, la craie phosphatée de Ciplly et la craie de Spiennes, notamment de 81 à 87 mètres, de 102 à 120 mètres et de 142 à 156 mètres; ils causèrent beaucoup d'ennuis dans le forage des trous de mines, en émoussant les fleurets. A mesure qu'on s'approfondissait, la gelée avançait vers le centre du puits et par suite, les terrains devenaient de plus en plus durs. Cette augmentation de la dureté des terrains nécessita progressivement un plus grand nombre de mines. Celles-ci étaient généralement réparties sur trois couronnes; d'abord celles de la première série étaient peu distantes du centre et étaient chargées très fortement; ensuite celles de la seconde série étaient distantes d'environ 0^m75 des parois et enfin celles de la troisième se trouvaient à quelques centimètres

FIG. 8. — Coupe verticale par l'axe du puits n° I.

Échelle 1 : 1000

s, banc de rognons de silex.

i, trou d'injection de ciment dans le couvage.



seulement des parois du puits et étaient forées aussi verticalement que possible, contrairement à celles des deux premières séries, lesquelles inclinaient vers le centre. Les trous de mines étaient, dans les premiers temps, forés simplement à la barre. A partir de la profondeur de 140 mètres environ, on commença à utiliser un marteau à air comprimé à la traversée des silex. L'emploi de ces marteaux se généralisa bientôt pour le battage, même dans la craie simplement congelée, sans silex.

La charge des fourneaux variait de 2 à 10 cartouches de gélignite ou de forcite, de 100 grammes chacune. Les amorces, à basse tension, avaient une résistance de 1 à 1.5 ohm. Elles étaient vérifiées au préalable, au moyen d'un ohmètre et celles utilisées dans un même tir (10 à 20 mines par tir), ne pouvaient différer entre elles de plus de 0.1 ohm. Les fils de connexion étaient montés sur un treuil et descendus dans le puits pour chaque tir. Ce treuil possédait deux bagues avec balais d'amenée du courant.

Les mines étaient chargées par le porion qui quittait le chantier le dernier. Après l'arrivée au jour du porion, le chef porion manœuvrait simplement une manette de fermeture du circuit, manette placée dans une armoire spéciale dont il possédait toujours la clef. A l'origine, on utilisait une petite magnéto capable de faire sauter quarante mines en série, mais bientôt, on trouva plus commode d'employer directement le courant d'éclairage à 110 volts.

L'emploi de marteaux à air comprimé pour le forage des trous de mine a donné lieu à quelques observations intéressantes que je crois utile de mentionner. Ces marteaux étaient alimentés par de l'air comprimé à 5 atmosphères de pression en moyenne, qui était fourni par un compresseur actionné par une petite machine à vapeur à grande vitesse. La conduite d'air comprimé avait 70 millimètres de diamètre intérieur.

Pendant le battage d'une mine, un manœuvre versait de temps en temps un peu d'eau chaude dans la mine. Cette eau ramollissait légèrement le terrain et facilitait par conséquent le travail. En outre, en s'émulsionnant sous l'action de l'air comprimé qui sortait par l'axe du fleuret, elle renvoyait au dehors les débris de roches. D'après les essais effectués, le battage d'une mine en craie compacte gelée ou bien en fortes-toises était avec le marteau à air comprimé, respectivement dix ou quatre fois plus rapide qu'avec la simple barre à mine.

La présence des silex rendait l'usage des marteaux plus délicat.

Si les silex étaient très durs, au marteau comme à la barre, les taillants des fleurets s'émoissaient rapidement ; mais le taillant de la barre à mine ne consistant qu'en un simple tranchant droit, était de réparation beaucoup plus facile. En outre, le remplacement continu des fleurets des marteaux entraînait une grande perte de temps. En pratique, à la rencontre de silex importants, on reprit parfois les barres à mine, afin de permettre à l'atelier de suivre aux réparations.

Dans les terrains trop gras, comme les dièves, le battage et l'eau chaude de curage ramenaient ces terrains à leur état naturel et alors les marteaux ne marchaient plus. (Cet emploi d'eau chaude a d'ailleurs été complètement abandonné ultérieurement.)

Un inconvénient de l'emploi de l'air comprimé, propre au fonçage par congélation, c'est la formation à l'intérieur de la conduite d'air comprimé, d'une couche de glace due à la condensation de l'humidité que l'air comprimé entraîne avec lui ; au bout de quatre mois de fonctionnement, la colonne d'alimentation des marteaux fut complètement obstruée et dut être démontée.

Outre la trousse à 34^m70 déjà citée, des *trousses* furent picotées à 92 mètres, 159^m90, 246^m10 et 318^m29. D'après le cahier des charges, la dernière trousse dans les morts-terrains (à 318^m29) devait être posée dans les dièves, mais le peu d'importance de cette assise, seulement 1 mètre et son inclinaison, 12°, rendirent la chose impossible ; la trousse fut posée partie dans les fortes-toises, partie dans les dièves et partie dans le tourtia.

Sous les morts-terrains, le creusement continua dans le *terrain houiller*. Celui-ci se montra d'abord complètement failleux, puis se présenta en dressant. Les deux trousses de base furent posées à 347^m66, dans des schistes inclinés à 80°.

Pendant le creusement, l'extraction des déblais et de l'eau se faisait au moyen de deux tonnes de 800 litres de capacité. Ces deux tonnes étaient suspendues à des câbles ronds métalliques et étaient manœuvrées par des treuils absolument indépendants, abrités dans des cabines distinctes de la tour. Les caractéristiques principales de ces treuils étaient :

Diamètre des pistons	300 ^m / ^m
Course des pistons	300 ^m / ^m
Nombre de tours maximum	160
Vitesse moyenne des produits	2 ^m 50

Deux conduites distinctes reliaient les treuils aux collecteurs des chaudières de Naeyer, de façon à pouvoir marcher à treuil unique, pendant une réparation à la conduite d'alimentation de l'un des treuils.

Après la pose de la troisième trousse, à 159^m90, quatre *câbles-guides* de 10 millimètres de diamètre furent suspendus à la partie supérieure de la tour de fonçage et amarrés à un châssis métallique installé à la partie inférieure du cuvelage. La tonne était guidée par l'intermédiaire d'un curseur qui embrassait le câble d'extraction au-dessus du crochet de suspension de la tonne, mais qui permettait au câble d'extraction de continuer sa descente lorsque le curseur précité venait reposer sur la carrure d'amarrage des câbles guides.

A proximité du cadre d'amarrage, se trouvait, pendant le fonçage, le plancher de manœuvre utilisé lors de la pose du cuvelage. Ce plancher était pourvu d'une ouverture centrale de 3^m70 sur 1^m70, pour le passage des tonnes et servait de hourd partiel de protection pour les ouvriers occupés au fonçage.

Dans la traversée des terrains congelés, on ne pouvait songer à imposer des *échelles*, car la température très basse régnant dans le puits eût condensé l'humidité de l'air sur les échelons, en une mince couche de glace, et eût rendu ainsi ces échelons glissants et par suite l'utilisation des échelles très dangereuse. L'échelle volante décrite dans les *Annales des Mines de Belgique*, par M. Breyre (1911, tome XVI, p. 417), ne fut jamais utilisée dans la traversée des morts-terrains congelés.

L'*éclairage du chantier* était assuré par un bouquet de cinq lampes à incandescence de seize bougies, suspendu à un câble armé plat qui comprenait au centre un câble en acier et, de part et d'autre de ce câble en acier, les fils électriques convenablement isolés. Dès que la carrure d'amarrage des câbles-guides des tonnes fut installée, vers 159 mètres, le treuil de manœuvre du câble du bouquet électrique qui était primitivement installé à la surface, fut descendu sur cette carrure, et le courant fut dès lors amené aux balais du treuil par deux câbles isolés et distincts, l'un d'amenée et l'autre de retour, fixés tous les trente mètres au cuvelage.

En outre, quelques lampes à acétylène étaient toujours allumées, pour le cas où un accroec à l'installation électrique eût éteint les lampes à incandescence

Le *renouvellement de l'atmosphère du chantier* était assuré, en

sus de l'aération naturelle qui devait être très sensible, à cause de la basse température des parois, par un petit ventilateur François, de quatre chevaux. L'air foulé par ce ventilateur était conduit jusqu'à 5 à 20 mètres du fond du puits, d'abord par des canars en tôle galvanisée de section elliptique (500 et 250 millimètres d'axes) sur toute la hauteur cuvelée et ensuite par des canars en toile de 354 millimètres de diamètre, maintenus ouverts par des cercles en gros fil de fer galvanisé sur la passe en creusement. Les canars en tôle reposaient par des collets sur des carcans, lesquels étaient fixés par boulons sur deux câbles enroulés à la surface sur un treuil à bras.

La *tour de fonçage* avait une base de 13 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur et supportait les molettes, à l'extérieur, à 11 mètres seulement au-dessus du niveau du sol. Elle possédait deux niveaux de recette. Le premier, au niveau du sol, ne servait que pendant la pose du cuvelage pour la descente des segments et du béton. A cette recette, se trouvaient établis les différents treuils du tir, de l'éclairage et des canars, ainsi que le petit ventilateur. Le second était le niveau principal où se trouvaient les sonneries arrivant du fond et les porte-voix allant aux cabines des treuils; il était monté à 3 mètres de hauteur et se prolongeait par une passerelle au-dessus des voies de transport.

Les panneaux des portes fermant les recettes étaient relevés par la simple manœuvre de leviers, pour laisser passer les tonnes à leur arrivée et étaient ensuite rabattus; puis un wagonnet culbuteur poussé sur les portes recevait la tonne par ses tourillons et était ensuite amené au-dessus des wagons où les déblais étaient déversés.

Avant de décrire le cuvelage, je donnerai quelques renseignements sur le creusement du puits n° II.

CREUSEMENT DU PUIT N° II. — Au puits n° II, le raccordement des colonnes congélatrices au circuit des machines frigorifiques se fit progressivement dans le courant de septembre 1910. L'introduction d'une nouvelle colonne faisait tomber la température de sortie du liquide réfrigérant de quelques dixièmes de degré. Lorsque cette température était revenue à sa valeur primitive, on introduisait une seconde colonne et ainsi de suite. La vanne placée sur le circuit du puits n° II permettait de régler la quantité d'eau salée destinée à ce puits; on s'arrangeait par la manœuvre de cette vanne de manière à garder une température de -11 à -12° au retour général.

Comme au puits n° I, on décida de cimenter la partie supérieure du tuffeau, approximativement jusqu'à la profondeur de 50 mètres. Quatre sondages furent forés à l'extérieur du puits; ils absorbèrent 7,650 kilog. de ciment. Les venues qui se déclarèrent au début de la deuxième passe, vers 37 mètres de profondeur (voir ci-dessous), semblent prouver que cette cimentation ne réussit pas complètement.

Le 1^{er} février 1911, le mur de glace semblant fermé, le creusement commença dans le tuffeau de Ciplly et le 14, la première trousse fut picotée à 35 mètres; le cuvelage fut terminé le 25.

Pendant le fonçage de cette passe, l'eau venait par le sondage central et au moment de la pose de la trousse, la venue était de 3 à 4 mètres cubes à l'heure. Pendant la pose du cuvelage, la venue ne fit qu'augmenter et le 26 février, à la reprise du creusement, elle s'éleva brusquement à 20 mètres cubes à l'heure, ce qui amena l'abandon du fonçage à 37 mètres.

On tenta d'abord d'obturer la fissure par une cimentation complémentaire, mais sans succès. On décida alors de porter tout le froid de l'usine sur le puits II et, à partir du 10 avril, le circuit du puits I ayant été coupé, les trois machines frigorifiques fonctionnèrent sur ce puits.

La soudure du mur de glace fut complète le 6 juin.

On reprit le creusement d'abord dans un banc de béton de 3^m50 d'épaisseur coulé au fond du puits lors des essais de cimentation et ensuite dans le tuffeau de Ciplly.

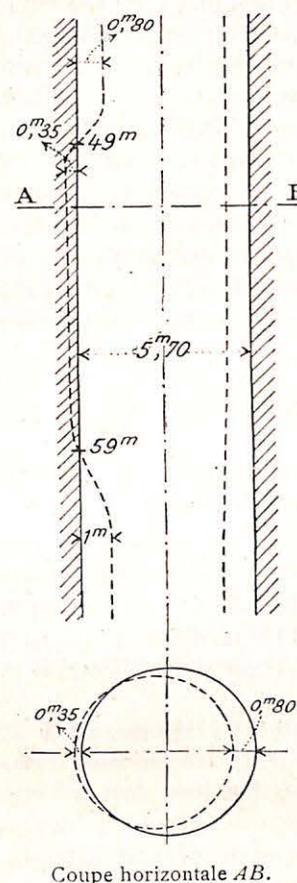
Après l'épuisement, la venue était de 60 litres à l'heure; elle augmenta jusque 150 litres et cessa ensuite totalement un jour et demi après la reprise du fonçage.

De 37 à 48 mètres, la gelée pénétrait dans le cercle de creusement du puits d'environ 0^m80 sur tout le pourtour. De 49 à 59 mètres, elle sortait du périmètre de creusement, en face du sondage n° 18 bis, ainsi que le montre la figure 9.

Pendant la traversée de cette région, le minage fut réduit afin de ne pas fissurer la zone de faible résistance. A 59 mètres, on rencontra le tuffeau de Saint-Symphorien, plus dur et moins aquifère que celui de Ciplly et la gelée rentra dans le puits, sur tout le périmètre, jusqu'à environ un mètre des parois.

Le creusement se poursuivit ensuite régulièrement jusqu'au terrain houiller, rencontré à 317^m75, d'une manière analogue au puits n° I. Je signalerai cependant qu'au puits n° II, les marteaux à

Fig. 9.
Coupe verticale par l'axe du puits n° II.
Les limites du mur de glace sont indiquées en pointillé.



Coupe horizontale AB.

air comprimé furent utilisés d'une façon continue, depuis l'apparition des terrains congelés.

De nouvelles trusses furent posées à 130^m14, 223^m78 et 312^m61; celle-ci est posée dans les fortes-toises.

Les terrains primaires rencontrés à ce puits furent moins failleux qu'au n° I; ils inclinaient seulement à 30°. Les dernières trusses furent posées à 342^m02 dans des roches assez dures.

L'extraction des déblais se fit d'une manière analogue à celle du puits n° 1; les câbles-guides furent installés après la pose de la trousse de 130 mètres. L'éclairage et la ventilation du chantier, ainsi que la tour de fonçage furent également identiques aux deux puits.

REVÊTEMENT PROVISOIRE.— Dans les deux puits, les parois congelées se soutinrent parfaitement d'elles-mêmes, sans le moindre revêtement provisoire, même sur des passes de 95 mètres. Cependant, je mentionnerai :

a) Au puits n° I, jusque bien avant dans la seconde passe, les quatre sondages bis consécutifs, n°s 16 à 19, produisirent une excavation vers l'extérieur du mur

de glace, de sorte que, même en dessous de la trousse de 34^m70, une partie de la paroi n'était pas congelée, mais se soutenait cependant assez bien. Comme mesure de précaution, on disposa contre cette partie du puits; quelques queues de perches maintenues par quelques pièces de bois potelées de part et d'autre;

b) Au puits n° I, en dessous de la trousse de 246 mètres jusque vers 280 mètres, et au puits n° II, sur presque toute la hauteur de la quatrième passe, de 226 à 304 mètres environ, un soutènement provisoire fut établi. Il était nécessité par la texture du terrain. Celui-ci ne montrait aucun joint de stratification ; on passait d'une assise dans la suivante sans s'en apercevoir ; mais il existait une espèce de clivage vertical, c'est-à-dire que des plaquettes de terrains se détachaient assez facilement suivant des joints verticaux. Le but du revêtement provisoire était simplement d'éviter la chute de ces plaques. Ce revêtement se composait d'anneaux en fer [ou en fer plat, avec par derrière, contre le terrain, un garnissage non continu de dosses ou de tôles avec crochets. En quelques endroits, des espèces de longrines, d'environ 2 mètres de longueur, étaient potelées dans le terrain, afin de supporter les anneaux du revêtement. Aucune pression n'étant à craindre, les anneaux en fer plat étaient tout indiqués.

CUVELAGE. — Je donnerai maintenant quelques renseignements sur le cuvelage et sur sa pose.

Chaque anneau de cuvelage comprend dix-segments de 1^m50 de hauteur, munis de deux nervures horizontales intérieures. L'épaisseur de fonte des anneaux varie sur toute la hauteur du puits, depuis 25 millimètres jusque 110 millimètres. Des trous d'injection de ciment de 40 millimètres de diamètre sont prévus à un anneau sur dix, au nombre de quatre par anneau et répartis sur tout le périmètre du puits. A noter cependant que les anneaux situés sous une trousse en sont généralement pourvus.

Chaque trousse est composée également de dix segments de 25 à 30 centimètres de largeur et de 25 centimètres de hauteur, sauf la trousse supérieure de base, établie dans le houiller, dont la hauteur est de 34 centimètres.

Toutes les faces des segments formant joints sont rabotées et rainurées légèrement à l'usinage. Dans les joints, des lames de plomb, dont l'épaisseur est de 3 millimètres avant la pose, sont écrasées par le serrage des boulons qui assemblent, soit les segments d'un même anneau, soit les segments de deux anneaux consécutifs. Ces boulons d'assemblage sont également pourvus, outre leurs rondelles en fer, de rondelles en plomb de 5 millimètres d'épaisseur.

Pour la descente des segments, on fixait au câble un anneau muni de quatre chaînettes ; ces chaînettes étaient terminées par des bou-

lons qui étaient introduits dans des trous du segment destinés au passage ultérieur des boulons d'assemblage des segments entre eux. Le serrage des écrous des boulons des chaînettes avait lieu avec interposition de rondelles calibrées de façon à tendre uniformément les quatre chaînettes.

Pendant la pose du cuvelage, le personnel se tenait sur un plancher de manœuvre décrit dans le tome XVI, 1911, pp. 421 à 423, des *Annales des Mines de Belgique*, par M. Breyre ; mais lors de la descente des segments, un tiers du personnel du fond remontait à la surface et aidait le personnel de la recette, dans la manœuvre des segments.

En outre des lames de plomb écrasées dans les joints, l'étanchéité du cuvelage est assurée par un *bétonnage* effectué derrière le cuvelage sur 20 centimètres d'épaisseur. Le squelette du béton est composé de :

1,4	de	mètre	cube	de	pierrailles	de	15/25 ^{mm}	;
1,2		»		»	»		5/15	» ;
et 1/4		»		»	»		1/5	» ;

Les pierrailles consistent en déchets de carrières de porphyre à pavés. A chaque mètre cube de pierrailles, on a ajouté 350 kilog. de chaux hydraulique pulvérisée.

Cette composition est invariable sur toute la hauteur, sauf à chaque anneau situé immédiatement au-dessus d'une trousse ; pour ces anneaux, la chaux est remplacée par du ciment, dans la composition indiquée ci-dessus. L'eau du béton était additionnée d'un peu de $CaCl^2$.

Le béton préparé à la surface était descendu dans des benues carrées de 0^m3700 environ de capacité, à fond incliné. Pendant le bétonnage, une partie du personnel du fond préparait le béton à la surface, tandis que l'autre partie dammait le béton.

Après la pose de l'anneau supérieur d'une passe, il s'agissait de raccorder cette passe à la trousse immédiatement supérieure.

Généralement, on s'arrangeait lors de l'établissement de la banquette qui devait recevoir la trousse d'une passe, de façon qu'après la pose du cuvelage sur toute la hauteur de la dite passe, il subsistât au-dessus du dernier anneau de la passe, un vide de 25 à 30 centimètres. Le raccord était alors constitué de vingt segments en fonte, dont la bride supérieure avait une surépaisseur de 5 centimètres. Après la pose du dernier anneau, on mesurait la hauteur exacte du

vide subsistant et on rabotait la face supérieure des segments du raccord de manière à pouvoir introduire ces segments dans le joint.

RÉSULTATS OBTENUS. — Avant d'aborder la question du dégel, je crois intéressant de donner les résultats obtenus en creusement et en cuvelage.

Je décrirai d'abord la composition du personnel occupé.

Au puits n° I, le fonçage de la première passe se fit avec trois postes de onze hommes, travaillant chacun huit heures. Dès le début de la deuxième passe, les ouvriers furent répartis sur quatre postes.

Cette organisation — quatre postes de douze hommes — se maintint pendant le creusement des troisième et quatrième passes. Ce ne fut qu'à la cinquième passe que le travail à trois postes fut rétabli.

Dans la passe du houiller, les postes étaient également de huit heures. Pendant tout le fonçage, il y avait, en outre, trois porions qui faisaient chacun huit heures.

Au puits n° II, à part les venues du début du fonçage, le creusement se fit toujours complètement à sec et le personnel fut constamment réparti sur trois postes composés de douze à quatorze hommes et d'un porion.

En outre, deux chefs porions, un de jour et un de nuit, exerçaient aux deux puits, la surveillance du fond et du personnel des recettes; ce dernier comprenait à chaque puits, deux chefs taqueurs (un par porte) et trois manœuvres.

Le reste du personnel de la surface, comprenant machinistes des treuils, graisseurs des treuils et des appareils frigorifiques, manœuvres du dommage et ouvriers d'atelier, se trouvait placé sous les ordres de deux chefs mécaniciens.

Dans les tableaux ci-dessous, j'ai transcrit les moyennes d'avancement réalisées dans les deux puits, tant en creusement qu'en cuvelage. Ces moyennes ont été calculées par jour de travail, c'est-à-dire qu'on a décompté les jours de chômage.

Puits n° I. — Commencé le 25 avril 1910, interrompu du 10 mai au 7 juillet et continué ensuite sans interruption du 7 juillet 1910 au 2 juin 1911. Le tableau ci-dessous ne concerne que le travail à partir du 7 juillet 1910.

	PASSE	Moyenne en creusement	Moyenne en cuvelage	Moyenne en creusement et en cuvelage réunis
1 ^{re}	creusée de 18 ^m 60 à 34 ^m 70	2 ^m 62	—	—
	cuvelée de 34 ^m 70 à 7 ^m 45	—	2 ^m 86	—
2 ^{me}	de 34 ^m 70 à 92 ^m 00	2 ^m 12	1 ^m 85 (1)	0 ^m 98
3 ^{me}	de 92 ^m 00 à 159 ^m 90	1 ^m 36	4 ^m 53	1 ^m 04
4 ^{me}	de 159 ^m 90 à 246 ^m 10	2 ^m 26	4 ^m 79	1 ^m 54
5 ^{me}	de 246 ^m 10 à 318 ^m 29	1 ^m 90	3 ^m 61	1 ^m 24
6 ^{me}	de 318 ^m 29 à 347 ^m 66	1 ^m 39	2 ^m 66	0 ^m 91

Puits n° II. — Commencé le 1^{er} février 1911, interrompu du 26 février au 6 juin et continué ensuite sans interruption du 6 juin 1911 au 22 février 1912.

	PASSE	Moyenne en creusement	Moyenne en cuvelage	Moyenne en creusement et en cuvelage réunis
1 ^{re}	creusée de 17 ^m 00 à 35 ^m 00	1 ^m 70	—	—
	cuvelée de 35 ^m 00 à 9 ^m 25	—	2 ^m 57	—
2 ^{me}	de 35 ^m 00 à 130 ^m 14	2 ^m 38	6 ^m 79	1 ^m 76
3 ^{me}	de 130 ^m 14 à 223 ^m 78	2 ^m 17	5 ^m 85	1 ^m 58
4 ^{me}	de 223 ^m 78 à 312 ^m 61	2 ^m 28	4 ^m 44	1 ^m 51
5 ^{me}	de 312 ^m 61 à 342 ^m 02	1 ^m 35	2 ^m 17	0 ^m 90

(1) Après la pose du cuvelage de la deuxième passe, le cuvelage fut rematé pendant treize jours; la moyenne faible (1^m85) indiquée dans le tableau tient compte de ces treize jours de rematage.

MARCHE DU DÉGEL. — Le creusement et le cuvelage étant terminés et les machines frigorifiques étant arrêtées, le dégel commença, période critique pendant laquelle le cuvelage pouvait subir des mouvements importants, peut être se briser en partie et détruire le fruit de plusieurs années d'efforts.

Les avis étant partagés sur l'opportunité du dégel artificiel, le dégel s'effectua naturellement et alors que le creusement et le cuvelage avaient bien marché, le dégel occasionna assez bien d'ennuis, fait d'ailleurs commun à beaucoup d'autres fonçages par congélation, et entraîna par suite une grande perte de temps.

Dégel et cimentation du puits n° I. — Je mentionnerai d'abord qu'après la pose de la deuxième passe du cuvelage, la venue d'eau de la région des quatre sondages bis qui pendant le fonçage de la deuxième passe avait parfois atteint 6^m3700 par heure, étant encore assez conséquente, le cuvelage fut rematé complètement et une injection de dix tonnes environ de ciment fut effectuée du côté de la venue, vers la profondeur de 85 mètres. Cette cimentation réduisit la venue à peu de chose.

Je rappellerai ensuite qu'à ce puits, la congélation fut arrêtée le 10 avril 1911 et que la dernière passe de cuvelage fut terminée le 2 juin 1911.

Dans le courant du mois de juin, la mince couche de glace qui s'était formée sur le cuvelage fondit par suite du réchauffement dû à l'air qui circulait dans le puits et à la fin du même mois, la première brèche se produisit dans le mur de glace, au niveau des rabots. Le dégel gagna ensuite rapidement la trousse de 160 mètres.

Le 22 juillet, on commença le rematage des joints du cuvelage. D'une part, l'avancement du dégel tendait à augmenter la venue et d'autre part, les progrès du matage tendaient à la diminuer. Pendant le 2^{me} semestre 1911, le personnel fut occupé à mater le cuvelage entre 346 et 160 mètres et à abattre les eaux, à deux reprises. D'abord du 22 juillet au 11 septembre; au début de septembre, on réduisit fortement la venue du houiller par une injection de 26,200 kilog. de ciment effectuée dans la passe de cuvelage qui s'étend entre les trousses de 346 et 318 mètres. Le matage, interrompu le 11 septembre, fut ensuite repris du 29 septembre au 24 octobre.

Vers le 1^{er} janvier 1912, un thermomètre à minima, descendu dans les anciens circuits congélateurs marqua 0°.

A partir du 2 avril, le dégel artificiel fut employé avec 4° de différence maximum de température entre l'entrée et la sortie de l'eau

dans les anciennes colonnes congélatrices. Pendant cette circulation, on mata définitivement le cuvelage, du 20 avril au 2 mai, en vue de faire la cimentation partielle des terrains derrière le cuvelage. Vers le 1^{er} juin, l'eau sortait à la partie inférieure du cuvelage, à la température de 7 à 9°, mais à la partie supérieure, les fuites du cuvelage accusaient encore une température de 0°. La circulation d'eau fut arrêtée quelques jours après.

Pendant ce mois de juin, on procéda à une injection de ciment; le ciment injecté remplit d'abord les vides du béton et l'excès fut absorbé par les fissures du terrain.

Le 17 juillet, l'épuisement fut arrêté et le puits se remplit d'eau peu à peu; la venue était à ce moment de 2^m3700, dont 1 mètre cube du houiller. Le fonçage en terrain houiller avait marché d'une façon continue depuis juin 1911, sauf pendant les périodes de matage du cuvelage, et atteignait, le 17 juillet 1912, la profondeur de 439 mètres. Les chutes d'eau continuelles qui gênaient considérablement le personnel et les terrains très mauvais rencontrés, qui forçaient parfois à recarrer les parois lors de la confection du revêtement en maçonnerie, n'avaient pas permis d'avancer rapidement.

La tour de fonçage fut alors démontée, pour permettre le montage des installations définitives.

Par la suite, l'avant-puits fut rempli, partie en béton, partie en maçonnerie de briques, de façon à lui donner un diamètre intérieur de cinq mètres.

Au 1^{er} décembre 1912, la situation était la suivante: le puits est creusé et revêtu définitivement jusque 439 mètres. Le châssis à molettes est sur le point d'être monté. Lorsque ce montage sera terminé, les tubes congélateurs, dont l'abandon dans le terrain a été décidé, seront bétonnés; le puits sera vidé et l'injection de ciment dans le terrain sera continuée jusqu'à obtention de l'étanchéité désirée.

Dégel du puits n° II. — La congélation fut arrêtée définitivement à ce puits le 5 juillet 1912; depuis huit mois d'ailleurs, une seule unité était en marche pour assurer l'entretien de la congélation.

Avant qu'aucun dégel se fût manifesté, le cuvelage avait été rematé du 5 au 8 février et du 26 février au 16 mars, et lorsque des fuites se déclarèrent au cuvelage le 11 juin, un nouveau rematage fut commencé et continua jusqu'au 24 juillet. Il fut ensuite repris du 12 août au 5 septembre.

Au 1^{er} décembre 1912, la situation se présentait comme suit :

Le puits n° II est creusé et revêtu définitivement jusque 410 mètres, sauf l'avant-puits qui n'est pas achevé, et un nouveau-midi est en cours d'exécution au niveau de 400 mètres.

Pour achever le puits, après dégel complet, il restera, d'une part, à remater définitivement le cuvelage et à injecter du ciment par le cuvelage et, d'autre part, à retirer toutes les colonnes intérieures des circuits congélateurs et à remplir de ciment les colonnes extérieures.

Quand on considère l'importance du bétonnage et son but essentiel d'assurer au cuvelage un soulagement qui pourrait être très important, il semble que l'on aurait avantage à employer exclusivement le béton de ciment. Il est bien évident que le béton à la chaux hydraulique fait prise avec une lenteur très grande, surtout à basse température, et le rôle accessoire qu'il pourrait remplir au point de vue étanchéité est, par le fait, assez mal assuré.

Plusieurs matages ont été rendus nécessaires au cours du dégel, parce que les eaux traversant le béton, chargées de chaux et de chlorure, tombaient sur les ouvriers occupés au fonçage et leur brûlaient les mains.

Il faut cependant faire observer à ce sujet que si le béton préparé à la chaux hydraulique a été une source d'ennuis, c'est à cause notamment de la lenteur du dégel naturel, qui n'a pas permis plus tôt l'injection du ciment par le cuvelage. S'il se fût agi d'un dégel artificiel, l'opération eût pu être terminée en quelques mois, l'injection de ciment eût suivi, et la continuation du fonçage en terrain houiller, fonçage qui aurait naturellement chômé pendant ce dégel artificiel, eût pu être reprise ensuite, sans que le personnel du fonçage fût incommodé par l'eau qui traversait les joints du cuvelage.

L'expérience de ces deux fonçages semble montrer que seul, le procédé de dégel n'est pas encore mis au point ; mais il est probable que l'on en viendra à adopter le dégel artificiel. Appliqué d'une façon rationnelle, il semble, dès à présent, qu'il ne doive pas offrir moins de sécurité que le dégel naturel.

