

A cet effet, des madriers devaient tout d'abord être placés jointivement dans le sens nord-sud sur le bord supérieur des cylindres en tôle traversant le plancher en béton. Les ouvriers chargés de ce travail, avaient reçu l'ordre de se munir d'une ceinture de sûreté et d'attacher la chaîne de celle-ci aux anneaux dont étaient pourvus les volets du plancher supérieur.

A un moment donné, à la fin d'un poste de travail, huit madriers étaient placés, dont trois non définitivement, étant en porte à faux à leur extrémité nord.

Les ouvriers se préparaient à regagner la surface.

L'un d'eux constatant qu'il avait laissé un marteau sur les madriers déjà en place, passa sous la barrière entourant l'ouverture du plancher supérieur, enjamba un des volets relevés et s'aventura sur les madriers sans s'attacher par sa ceinture de sûreté.

Il marcha sur l'extrémité des madriers en porte à faux. Ces madriers basculèrent et l'ouvrier tomba par un des cylindres en tôle sur le plancher mobile, puis, par l'ouverture de celui-ci, au fond du puits.

# MÉMOIRE

## Etude sur les Fonçages de Puits en Campine

PAR

G. GUION

Ingénieur civil des Mines.

Assistant de Géologie à l'Université de Liège.

(Troisième suite et fin.)



## **Etudes monographiques des travaux de fonçage des Puits dans les différents charbonnages de Campine**

---

Dans les études groupées en cette seconde partie, nous avons réuni les documents relatifs au fonçage des différents puits. Ce n'est que l'exposé historique des faits, l'énumération des documents principaux que nous avons pu réunir. L'étude critique des principales questions a été développée dans la première partie.

Chacune de ces monographies a trait à une concession déterminée. Elles sont classées suivant l'ordre adopté par le corps des Mines :

- 1° Charbonnages de Beeringen. — Siège de Kleine Heide;
  - 2° Charbonnages de Helchteren-Zolder. — Siège de Voort;
  - 3° Charbonnages des Liégeois en Campine. — Siège de Zwartberg;
  - 4° Charbonnages de Winterslag. — Siège de Winterslag;
  - 5° Charbonnages André Dumont. — Siège de Waterschei;
  - 6° Charbonnages de Limbourg-Meuse. — Siège d'Eysden.
-



## Charbonnages de Beeringen-Coursel

*Siège de Kleine Heide*

Lors des sondages de reconnaissance effectués dans la concession de Beeringen, on a pu établir l'échelle stratigraphique suivante

### Echelle stratigraphique.

<i>Tertiaire</i>	}	0 m. — 110 m. sables
		110 m. — 178 m. argiles
		178 m. — 253 m. sables
		253 m. — 294 m. argiles ligniteuses
		294 m. — 315 m. sables
		315 m. — 378 m. marnes
<i>Secondaire</i>	}	378 m. — 470 m. Tuffeau
		470 m. — 550 m. craie compacte
		550 m. — 569 m. craie blanche
		569 m. — 608 m. marnes
		608 m. — 622 m. sables
		sous 622 m. <i>Houiller</i>

Les nappes aquifères reconnues étaient les suivantes :

Dans le *tertiaire*, les passes sableuses présentaient d'importantes venues d'eau. Ces nappes étaient séparées par des couches d'argile assez épaisses sans eau mais assez plastiques spécialement là où abondent les bancs à lignites. La partie supérieure du *crétacé* était aquifère. Les venues étaient importantes dans le tuffeau, moindres dans la craie compacte fissurée sous jacente. Une dernière nappe constituée de sables bouillants à la pression de 63 atmosphères reposait *directement sur le houiller*, sous des marnes imperméables de 40 m. d'épaisseur.

Le siège fut équipé avec deux puits. Le puits numéro 1 servant *spécialement à l'aérage* a une profondeur de 750 m. et comporte un accrochage au niveau de 727 m. Une balance établit la communication avec l'étage de 789 m. Le puits numéro 2 profond de 808 m. comporte une galerie à 727,50 m. où sont également installées les pompes d'épuisement et une seconde à 789 m. où sont établies également des pompes électriques

refoulant l'eau à 732 m. où les pompes de 727 m. viennent puiser.

Le projet envisagé dès l'abord comportait l'utilisation de la cimentation pour le fonçage dans les assises les plus favorables à ce procédé, c'est-à-dire dans les roches assez cohérentes du *crétacé*, et la congélation pour les assises où la cimentation était sans effet utile, c'est-à-dire les assises du *tertiaire*. Ce procédé était initialement d'une excellente conception. Le *tertiaire* supérieur étant seul congelé, les sondages n'avaient pas besoin d'être prolongés en profondeur. Le *crétacé* sous-jacent était cimenté par quelques sondages prolongés jusqu'à la base de cette assise. La profondeur de congélation n'était guère supérieure aux profondeurs pratiquement atteintes dans d'autres puits et cela avec excellente réussite. On n'avait à craindre nul inconvénient dû à une incertitude des résultats. L'expérience existait pour les profondeurs envisagées. En dessous, le procédé de cimentation était théoriquement excellent et capable de résister aux conditions où il était placé.

Restait bien la nappe des sables bouillants du *Hervien* pour lesquels aucun projet de fonçage n'était établi, vu les incertitudes, quant aux conditions et au débit, devant lesquels on se trouverait lors du fonçage.

Toutefois, ce projet ne fut pas intégralement réalisable. La nature même des roches *crétacées* de certain niveau, le tuffeau, ne permettait pas la cimentation. Il fallait employer un autre procédé; restait seule la congélation. Elle fut alors réalisée sur toute la hauteur du *tertiaire* et d'une partie du *crétacé* jusque 488 mètres. Les termes du *crétacé* où dominent les craies compactes avaient excellemment subi la cimentation. La congélation était sans effet pour ces terrains.

L'assise *hervienne* fut traversée ensuite grâce à une reprise de congélation à grande profondeur.

### ETABLISSEMENT DES AVANT-PUITS

Au puits numéro 1, l'avant-puits fut creusé au diamètre de 12 m. 50 et sur une hauteur de 5 m. La chambre ainsi constituée fut de dimension suffisante pour y creuser les sondages dans une couronne périphérique de 3 m. de large (le diamètre utile du puits étant de 6 m.) Après fonçage, les têtes des tubes



congélateurs étaient raccordées aux collecteurs placés dans les avant-puits.

Le soutènement fut réalisé par un muraillement en briques de ciment, formant coffrage, à l'extérieur duquel on établit un revêtement en béton d'épaisseur minimum 0 m. 50. La nappe aquifère s'élevant ici jusqu'à la surface. Le creusement se fit par les procédés ordinaires et comme d'importantes venues se produisaient par le fond, on y remédia en établissant un fond en béton armé de manière à résister à la poussée des eaux. C'est au travers de cette plate cuve que furent forés les sondages de congélation. Des manchons destinés à leur passage avaient été ménagés dans le plancher.

### CIMENTATION

Dix des sondages périphériques auxquels on adjoignit deux supplémentaires furent poussés jusqu'à la base du crétacé pour opérer la cimentation du crétacé. Avant d'exécuter la cimentation, on procéda aux opérations suivantes :

#### *Lavage des sondages*

Ce lavage fut réalisé par émulsion d'air comprimé. A cet effet, on descendit, par passes successives de 10 m., un tubage de 122 mm. de diamètre dans lequel une colonne de tubes de 32 mm. de diamètre amenait l'air comprimé qui en se détendant brusquement entraînait l'eau. Le volume d'eau ainsi débité fut de 63 m<sup>3</sup>/heure pour chaque sondage. Une fois ce travail terminé — ce qu'indiquait la pureté des eaux recueillies — on entreprit :

#### *La cimentation.*

Cette cimentation fut massive. On forait d'abord jusque 390 m. et on procéda à la cimentation des sables verts et craies friables de l'horison 378-390. On poursuivit ensuite jusque 625 pour cimenter toute la passe 625-390 en remontant progressivement les tubes cimenteurs. Le robinet de retour étant maintenu partiellement ouvert, on refoula en moyenne 110 m<sup>3</sup>/heure d'eau chargée de ciment sous une pression allant de 25 à 27 kg/cm<sup>2</sup>.

Les teneurs en ciment du lait injecté varièrent de 5/100 à 1/1000 suivant les conditions d'absorption des terrains.

Grâce au maintien du robinet de sortie partiellement ouvert, on réalisa une circulation continue dans le sondage, ce qui empêcha tout calage des tubes d'injection. En même temps, on provoqua une rotation continue des tubes et un déplacement vertical grâce à un petit treuil à main.

Malgré toutes ces précautions, le calage se produisit dans la plupart des sondages à 390 m., à la base du tubage isolant les assises supérieures.

Ce calage résultait de la formation à ce niveau d'un bouchon de ciment dont l'origine est simple.

Le tuffeau grâce à ses grains et à leur porosité constituait un excellent filtre qui rejetait dans le trou de sonde le ciment du lait injecté et provoquait ainsi ces dépôts d'obstruction.

Au puits numéro 1, on injecta ainsi 175 tonnes de ciment dont 80 furent absorbées par le terrain. Au puits numéro 2, l'injection de ciment absorba 52 tonnes. Elle eut lieu par dix sondages seulement sous une pression de 28 à 33 kgs. A ce puits, la cimentation fut opérée en deux passes 390-490 et 490-625. On put ainsi partiellement éviter les inconvénients rencontrés au puits numéro 1 en réglant le lait de ciment, la durée et la pression d'injection suivant la nature différente des roches qui constituent les assises des deux passes.

Les sondages de contrôle de cimentation indiquèrent des résultats excellents dans les niveaux du crétacé autres que le tuffeau, où il n'y eut aucune cimentation pratiquement utile. On décida donc de pousser la congélation au puits numéro 1 jusque 488 m. et au puits numéro 2 jusque 494 m.

### CONGELATION

#### *Installation frigorifique.*

Les sondages furent approfondis jusqu'au niveau définitif de base de la congélation. Les tubes de cimentation furent obturés jusqu'à ce niveau également par cimentation.

Les sondages furent tubés à colonnes perdues sous 330 m. par précaution contre les accidents possibles et pour la récupération des tubes congélateurs.

La congélation devait être réalisée à chaque puits par 30 sondages; par suite de déviations, il y eut en outre un certain nombre (7 au puits numéro 1) de sondages supplémentaires.



L'installation frigorifique comportait au puits numéro 1 quatre groupes de compresseurs donnant en tout 960.000 frigories/heure. Le débit de pompes à chlorure, en régime, atteignit 400 m<sup>3</sup>/heure.

Au début, ce débit fut moindre, mais il alla en croissant. En même temps, les températures s'abaissaient progressivement. La congélation ayant débuté le 22 novembre 1911, les températures enregistrées un mois après étaient : température au départ, — 8°4; température au retour, — 5°6, ces températures étant mesurées aux collecteurs. En juillet 1912, les valeurs réalisées étaient respectivement : — 20° et — 17°7. Le maintien de la congélation pendant le creusement se faisait avec une ou deux unités frigorifiques.

La congélation fut réalisée au puits numéro 2 par quatre unités frigorifiques d'une puissance totale de 1.100.000 frigories/heure. Elle commença le 5 février 1913.

#### *Sondage central*

Le sondage central fut dans les deux puits prolongé jusqu'à la base de la hauteur à congeler. Il fut ensuite armé de deux tubes concentriques, l'un pénétrant dans le crétacé, l'autre s'arrêtant à la tête de celui-ci. Une frette étanche de ciment établie à sa base l'isolait complètement de la nappe crétacée. Ce tube extérieur fut ensuite fendu suivant des génératrices vis-à-vis des bancs aquifères afin de mettre l'espace annulaire en relation avec ces nappes.

Au puits numéro 1, le mur fut fermé dans le tertiaire, le 1<sup>er</sup> février 1912. On n'eut aucune indication de la fermeture dans le crétacé, car l'eau menaçant de faire prise dans le sondage, on dut cimenter ce sondage.

Au puits numéro 2, le mur de glace était complètement fermé sur toute la hauteur après un mois de congélation.

#### *Déviations des sondages*

Les mesures de verticalité des sondages furent effectuées avec l'appareil d'Erlinghagen, mais seulement jusque 330 m., base initiale de la congélation. Sous ce niveau, le sondage avait été poursuivi à un diamètre trop petit pour permettre l'introduction de l'appareil. Lors du creusement, on se rendit compte des profondes inexactitudes de ce procédé. Ainsi on put cons-

tater au puits numéro 1 que six sondages franchement déviés vers l'axe du puits, d'après les lectures, n'avaient jamais pénétré dans la zone de creusement.

Les erreurs étaient graves dans les deux ordres de mesure : en déviation angulaire et en amplitude; ainsi un sondage dont on put contrôler la position vers 300 m. présentait une erreur de déviation de 31° et d'amplitude de 1 m. 30.

Au sondage central pour une déviation de 1 m. 16, il avait été renseigné 2 m. 68.

Après les accidents qui survinrent en juin et en août 1913, aux deux puits, les nouveaux sondages entrepris furent vérifiés jusque 480 m. avec l'appareil de Gebhardt.

Les mesures effectuées au Gebhardt furent doubles : d'abord d'une manière directe, puis, inverse. Après correction de l'excentricité, les écarts d'orientation étaient faibles et presque nuls et ceux d'amplitude oscillaient entre 0 m. 20 et 0 m. 70.

Les mesures effectuées au Gebhardt sur des sondages déjà vérifiés à l'appareil d'Erlinghagen donnèrent des écarts tout à fait défavorables à ce dernier.

## CREUSEMENT

### Puits N° 1.

Le creusement débuta au puits numéro 1 dans le courant de mai 1912 avec des équipes incomplètes. On dut enlever 1 m. 60 de sable congelé aux parois. La première passe s'arrêta à 113 m. 35 où on établit une assise constituée par deux trusses picotées à refus. Le cuvelage fut ensuite posé en remontant avec une vitesse qui fut en moyenne de 5 m. par jour. La vitesse moyenne pour le creusement et le cuvelage en y comptant les opérations accessoires de matage des points, pose des canars et autres accessoires nécessaires au creusement, lesquelles prirent six jours, fut de 1 m. 60 environ.

Sous les trusses de 113 m. 35, le creusement se poursuivit avec cuvelage en descendant. La vitesse moyenne descendit à 0 m. 90 quotidiennement. Les trusses furent placées à 145 m. 57 le 30 août, à 171 m. 40 le 1<sup>er</sup> octobre. On avait ainsi traversé toute l'assise des argiles rupéliennes. La trousse de base fut soigneusement picotée. La traversée des sables argileux tongriens sous-



jacents se fit en une seule passe avec pose du revêtement en remontant. La trousse de base fut placée et picotée à 273 m. 80 dans les argiles à lignites du Landenien. Ces terrains exercent de fortes poussées. Les niveaux de lignites sont peu consistants et cependant sans eau. Ils prennent très mal la congélation. Le revêtement provisoire entre 264 et 266 dut être enlevé au chalumeau ou partiellement abandonné dans le béton derrière le cuvelage. En conséquence, on décida de descendre sous 273 m. avec pose simultanée du cuvelage en descendant jusque 282 87. Toujours à cause des poussées, on cuvela immédiatement en remontant la petite passe de 294 m. 37 à 282 m. 87. La trousse de 294 m. 37 était dans des sables; ceux-ci sont très résistants du fait de la congélation. Aussi eut-on à nouveau recours au creusement avec pose du cuvelage en remontant jusque 318 m. 07, dans les marnes grises.

De là au tuffeau, on dut à nouveau poser le cuvelage en descendant avec cimentation immédiate des vides laissés derrière les anneaux, tant les mouvements de terrains se firent sentir avec intensité. Ils avaient provoqué la rupture de deux tubes; heureusement, on put descendre à temps des colonnes de secours qui empêchèrent l'accident de s'aggraver.

Le travail fut exécuté dans le tuffeau à nouveau par creusement et pose du cuvelage successivement.

La trousse de base de la première passe fut placée le 1<sup>er</sup> mai 1913 à 398,50.

Le 6 juin, comme on atteignait le niveau de 417 m. 50, une faible venue d'eau (150 l/heure) se fit jour. L'eau avait une température de 0°. On crut d'abord à l'existence d'une poche d'eau non congelée. On épuisa. Mais devant la persistance de la venue, on eut la conviction de l'existence d'une brèche dans le mur de glace. En conséquence, on décida de remplir le puits d'eau après avoir comblé la partie non congelée de sable.

Le puits fut ensuite fermé à la surface par une dalle de béton étanche que traversait un conduit de trop plein. Cette venue d'eau était vraisemblablement due à une brèche dans la nappe du crétacé. On n'avait pu acquérir de certitude quant à la fermeture du mur à ce niveau, le sondage central ayant dû être abandonné du fait de sa congélation.

Le tube de trop plein donnait, à 2 m. de haut, un débit de 1 m<sup>3</sup>.

On décida de couler à 398 m. 50, à la base du cuvelage un bouchon de ciment de 1 m., qui fut ensuite porté à 2 m. 50.

Le travail fut accompli de la manière suivante : on descendit dans le puits une colonne de 30 mm. de diamètre intérieur qui traversait le trop plein de la dalle d'orifice. Ce tube avait son extrémité à 3 m. au-dessus de la tête du puits.

L'étanchéité de la dalle n'étant pas parfaite, on décida d'établir l'équilibre entre le puits et la nappe en augmentant la densité de l'eau dans le puits par mise en suspension d'argile et dissolution de sel gemme. Celui-ci, en même temps, abaissait le point de congélation et empêchait la prise de l'eau dans le puits.

C'était là, en effet, un autre danger que la prise en masse de l'eau du puits qui en agissant sur le cuvelage menaçait de le détériorer. On fit circuler dans la masse d'eau un courant d'eau chaude, qui permit de la réchauffer et de maintenir la température à la base aux environs de 1°. Ceci était également favorable pour la prise du ciment du bouchon.

\* \* \*

La mesure périodique des températures des parois, en même temps que, par ses diagrammes verticaux, elle indiquait l'intensité de la congélation permettait par ses diagrammes horizontaux de se rendre compte de l'uniformité de la congélation sur la périphérie du puits.

Grâce à ces constatations, on put déterminer la zone où le mur de glace devait présenter un amincissement et même une brèche.

Le 22 août, on commençait le forage de dix sondages supplémentaires réparti sur un arc de 120° et de 3 m. 70 de rayon. L'eau d'injection utilisée pendant le creusement de ces sondages était réchauffée au préalable et alourdie par mise en suspension d'argile. Les températures mesurées furent ainsi de 10° au départ et de 3° à la remonte.

La nécessité de ce réchauffement est claire.

Dans ces sondages, on introduisit des tubes congélateurs soudés par recouvrement de 132 mm. de diamètre. Aux autres sondages, la congélation fut maintenue et entreprise avec deux groupes de compresseurs capables de 250.000 frigories chacun. Lors de leur descente, les tubes congélateurs eurent à subir de



violentes pressions irrégulièrement réparties qui provoquèrent des déformations et des écrasements de tubes. Pour certains, on put descendre des colonnes de secours.

Ces poussées résultaient des méthodes même que l'on avait été forcé d'employer lors du forage des sondages. L'injection d'eau tiède avait décongelé un espace annulaire autour du sondage dans le mur de glace. Lors de la pose des tubes, les terrains soumis à nouveau à la congélation du fait des autres sondages se sont inégalement refroidis. Les sables se sont d'abord solidifiés chassant l'eau dans les argiles qui ont gonflé aplatisant les tubes vides.

En conséquence, les tubes intérieurs doivent être immédiatement descendus dans les congélateurs et la circulation s'établit avec de la saumure à 15° de manière à rétablir une température uniforme sur toute la hauteur du sondage et mettre les terrains dans des conditions telles que l'on soit désormais maître d'en régler la congélation. Celle-ci sera dirigée aisément en faisant circuler de l'eau progressivement refroidie. La circulation se fera donc par une installation spéciale indépendante de celle des autres sondages.

La progression du mur de glace sera indiquée par les débits d'eau entre le tubage et le congélateur, lorsque celui-ci sera nul, on portera la saumure à la température de régime et on raccordera les nouveaux congélateurs au circuit ordinaire.

Cette opération réalisée après un quasi échec de trois sondages qui furent déformés et écrasés, réussit pleinement pour les huit suivants

Le débit total en saumure fut de 550 m<sup>3</sup>/heure.

\* \* \*

Les températures étaient lors de la mise en circuit de — 24°8 au départ et — 22°4 au retour et la puissance frigorifique totale de 1.700.000 frigories/heures. Commencée au début de janvier, la congélation des nouveaux sondages fut terminée en février 1914.

\* \* \*

Le creusement ne reprit après épuisement de l'eau du puits à la tonne, que le 10 mai 1915. La guerre avait éclaté en août au moment où l'épuisement commençait. Tout travail dut être arrêté. On put heureusement maintenir un compresseur de

200.000 frigories en service. Le 4 janvier 1915, la congélation était reprise à marche complète. Après remise en état de l'installation, vérification de la fermeture du mur de glace, épuisement des eaux du puits, fusion de la glace des parois par injection de vapeur sous la tête d'eau, et nettoyage du fond du puits encombré de boue, de sable et de ciment, on reprit le creusement sous 418 m. Une trousse fut posée à 481 m. et pendant que s'élevait le cuvelage de 481 à 398 m. 50 on remplaçait des anneaux brisés à 375 m. sous la poussée des marnes de Gelinden.

La trousse de base du cuvelage fut posée à 508 m. 05 le 30 octobre 1915, dans les craies grises cimentées. La congélation s'était fait sentir jusque 490 m.

Les venues d'eau s'élevaient dans les terrains cimentés à 180 l/heure.

Pour la traversée des craies cimentées, on posa un revêtement maçonné de claveaux de béton avec armature de fer. Le diamètre de creusement était de 7 m. 40 et le diamètre du puits, de 6 m. 60. Ces revêtements ne constituaient qu'un essai, et laissait l'espace nécessaire à la pose d'un cuvelage.

Le travail s'effectuait par postes de 18 à 20 ouvriers travaillant huit heures, l'avancement était de 1 m. 50 par jour avec pose du revêtement. En janvier 1916, on atteignait les marnes herviennes à 569 m. 50.

Dès le mois de février 1916, on s'occupa du remplacement des trusses défectueuses à 171 m. 40, 224,86, 282,87 et 294,37. Certaines avaient particulièrement souffert lors du remplissage du puits en 1914, puis on opéra la décongélation et on aborda les travaux nécessaires à la reprise de congélation nécessaire à la traversée du hervien. Les travaux nécessaires à cette opération avaient été étudiés pendant tout le début de 1916.

Ces études ayant été exposées et critiquées dans la première partie de ce mémoire, nous ne résumerons ici que les travaux entrepris.

#### *Reprise de congélation sous 600 m.*

Ayant achevé la décongélation, on entreprit le creusement d'une chambre tronconique d'évasement suffisant pour permettre le forage des sondages; le diamètre intérieur de base de cette chambre était de 10 m. 50. Les sables herviens aquifères s'étendaient sur la hauteur 608 m.-622 m.



Sur le pourtour de cette chambre, on creusa une rainure de 5 m. de profondeur s'évasant vers le bas de 2 m. 40 à 3 m. Dans cette rainure cimentée, on avait encastré les tubes guides nécessaires aux 60 sondages. Le travail de forage fut exécuté par deux foreuses à rotation installées à 581 m. et actionnées par des moteurs à air comprimé jusqu'à la profondeur de 604 m. Ensuite, trois colonnes d'équilibre furent placées jusqu'à la surface et permirent de pousser le creusement jusque 636 m. Le travail des sondeurs était achevé le 8 septembre 1917. Les 60 sondages étaient munis de leurs tubes congélateurs.

On démontra l'une des trois colonnes, les deux autres devant servir à l'amenée et au retour de la saumure. Pendant que l'on opérait le montage des colonnes collectrices, on se préoccupait de maintenir la chambre à sec en établissant une plate-cuve en béton au-dessus de celle-ci, cuve destinée à recueillir l'eau qui pleurait du cuvelage.

Le travail ayant été arrêté par ordre des autorités allemandes, on dû noyer le puits après avoir établi des planchers destinés à protéger les installations du fond contre tout sabotage.

Repris après l'armistice, le travail pu être poursuivi immédiatement, l'installation étant restée en excellent état. Après essais de résistance de l'installation à des pressions atteignant 80 kg./cm<sup>2</sup>, la congélation fut entreprise le 5 mai 1919. Le 10 juin, on commença le creusement.

La puissance frigorifique fut de 1.200.000 frig./heure; les températures de la saumure au collecteur atteignaient la valeur de — 32°5 au départ et — 31°2 au retour.

Le cuvelage nécessaire pour la traversée de la passe de sable hervien devait être double.

Sitôt la congélation finie, le creusement fut entrepris d'abord à petit diamètre (4 m. 40), ensuite à diamètre plus grand, de façon à permettre la pose en descendant du cuvelage de 5 m. 80 de diamètre.

Les poussées de terrains qui s'étaient fait sentir sur le revêtement provisoire exigeaient la pose directe du revêtement définitif. De ce fait également, les sondages congélateurs furent munis de colonnes. On procéda ainsi jusque 603 m. Sous 603 m., le creusement se continua à plus grand diamètre, avec pose en

descendant toujours du cuvelage extérieur de 6 m. 85. Il va sans dire que pendant cet avancement on dégagait les sondages qui avaient servi à la congélation et qui étaient répartis sur une circonférence de 5 m. de diamètre. Au fur et à mesure de l'avancement, ils étaient cisailés et enlevés.

Le travail réalisé par trois équipes de vingt hommes se faisait sans explosif vu la délicatesse de l'opération, le creusement était facilité par l'emploi de marteaux pneumatiques. L'avancement fut faible: 0 m. 50 par jour.

Le creusement fut ainsi poursuivi jusque dans le houillier où la trousse du revêtement extérieur fut picotée à 634.50.

A l'intérieur de cette trousse, on établit alors une banquette circulaire en béton bien damé pour réaliser la liaison avec le cuvelage intérieur. Sur cette banquette de béton par l'intermédiaire d'une clame de fer, on installa la trousse du cuvelage intérieur. Celui-ci fut alors élevé jusqu'à 588 m. 65 après démontage des anneaux placés en descendant au début du creusement. Ces anneaux avaient été placés en dessous du massif de béton des tubes guides, qui avait été laissé intact.

La congélation ayant été arrêtée, on creusa une rainure à la base du massif bétonné de manière à sectionner les tubes congélateurs. Après avoir rempli ceux-ci de ciment, on acheva d'élever le cuvelage en comblant l'espace creusé derrière jusqu'au congélateur avec du béton.

Le cuvelage a ensuite été raccordé au massif de béton par un remplissage de béton.

On provoqua alors la fusion de la glace adhérente aux colonnes d'amenée, et de retour de la saumure qui avait été maintenue en circulation à basse température de crainte d'accidents par chute de glaçons. Cette installation fut ensuite démontée.

Le creusement fut repris sous 634 m. 50 le 26 janvier 1920 avec pose du cuvelage de 5 m. 80 en descendant. Une importante venue d'eau s'étant manifestée dans le houiller, fut ainsi réduite et après captation derrière le cuvelage, l'eau fut envoyée par un tube flexible à 570 m. Les dernières trousses furent posées dans le houiller à 644 m. 21 et 646 m. 71.

Un accident matériel s'étant produit le 3 mars, pendant une grève du personnel, le puits fut inondé.



Le revêtement en béton vers 580 m. présentait de nombreuses fissures qui donnaient une importante venue d'eau. Cette venue provenait des nappes de tuffeau mises en communication avec le niveau de 580 par un sondage perdu.

On put heureusement empêcher cette venue et après épuisement on compléta le cuvelage sur toute la passe bétonnée.

Le 17 avril 1922, le travail put être continué sous 646 m. 70.

Le revêtement est constitué par un muraillement en béton armé de 90 cm. d'épaisseur.

Les passes furent successivement : 646 m. à 672 — 672 à 698,50 — 698,50 à 718,70 — 719,70 à 733 m. On établit un accrochage à 727 m. Le puits fut arrêté au niveau de 733 m.

La communication avec le niveau de 789 m. a été réalisée par balance. Ce puits sert de puits d'aéragé.

#### Puits N° 2.

Le creusement de ce puits commença le 6 avril 1913.

Les sables tertiaires supérieurs n'étaient pas complètement congelés. Il restait un important noyau meuble. On n'eut pas besoin d'entamer le mur de glace. Aussi, au début, l'avancement fut-il rapide.

La première trousse fut picotée le 26 avril à 109 m. 42. L'avancement journalier avait été de 5 m. 40.

Vu les poussées que présentaient les argiles rupéliennes, le creusement se poursuivit avec pose du cuvelage en descendant jusque 176 m. où une nouvelle trousse fut picotée.

Le creusement fut continué ensuite sans revêtement provisoire au travers des sables rupéliens et tongriens. Comme on atteignait 238 m., des fissures se marquèrent aux parois qui donnèrent bientôt issue à d'importantes venues d'eau.

On combla le puits dans sa partie non cuvelée. Ayant déterminé la cause de ces venues (mur de glace insuffisant ou non continu par suite des déviations de sondages), on entreprit le forage de sondages de congélation supplémentaires.

Après fermeture des murs, le 13 juillet 1915, on épuisa et nettoya le puits, puis on entreprit le creusement dans les sables qui remplissaient le puits sous 176 m. et qui étaient congelés.

Le creusement se fit en deux passes avec pose de cuvelage en remontant, passes 176 m. — 218 m. 18 — 235 m. 65. Sous 235 m. 65, le cuvelage fut posé en descendant au fur et à mesure

de l'avancement du creusement, les sables étant ici fortement argileux, ce qui entraînait la possibilité de fortes poussées.

L'avancement était assez lent. Le travail se faisait sans explosifs, au marteau pneumatique, avec trois équipes de vingt hommes par jour; l'avancement quotidien était de 0 m. 75.

Dès que l'on eut atteint le tuffeau à 376 m. 50, on abandonna la pose du cuvelage en descendant et on creusa à terre nue.

Une trousse fut posée à 445 m. 10 et, enfin la trousse de base, à 512 m. 06.

Le cuvelage ayant été achevé et vérifié, on reprit le creusement dans les terrains cimentés du crétacé constitué par des craies.

Le revêtement du puits sur cette partie fut comme au puits numéro 1, constitué par une maçonnerie de béton. On atteignit ainsi le hervien à 575 m., où l'on édifia la chambre nécessaire pour les travaux de reprise de congélation.

Les sondages ayant été forés sur les mêmes plans qu'au puits numéro 1 et tout l'équipement étant réalisé, plancher de sécurité, plancher-réservoir pour l'épuisement, installation de congélation, etc., on dut noyer le puits sur ordre de l'occupant.

L'installation fut remise en état en 1919.

On procéda alors à la décongélation de la première passe congelée et on s'efforça de retirer les tubes congélateurs des sondages. En même temps, à la suite des accidents qui s'étaient produits au puits numéro 1, on procéda au tubage des sondages congélateurs et on établit des vannes au collecteur afin de pouvoir mettre les sondages isolément en circuit. L'installation ne fut mise en marche que le 4 février 1920, après une dernière vérification et mise au point.

La puissance frigorifique nécessaire fut de 900.000 frigories/heure avec des températures au départ de  $-26^{\circ}$ .

Le mur de glace se ferma en mars. A la fin du mois, on commença le creusement avec pose du cuvelage en descendant. Celui-ci fut attaché à une trousse montée et picotée à 593 m. 52 sous le massif de béton des sondages.

On alla jusque 608 m. 32 en plaçant un cuvelage de 5 m. 80 de diamètre. A ce niveau, on installa la trousse de tête du cuve-



lage extérieur que l'on continua à placer en descendant au fur et à mesure du creusement. On continua ainsi jusqu'à 627 m. 32, soit 3 m. dans le houillier.

On installa ensuite à 629 m. 02, une trousse de base du cuvelage intérieur, que l'on posa en montant jusqu'au raccord avec le tronçon 593 m. 52 — 608 m. 32.

Le creusement fut ensuite poursuivi dans le houillier avec pose du cuvelage en descendant.

Lors du creusement à travers le hervien, on avait opéré comme au puits numéro 1, en démontant progressivement les sondages les plus intérieurs, mais on continua à maintenir la congélation du hervien par les sondages extérieurs (50) même pendant le creusement dans le houillier. La puissance nécessaire à la congélation fut de 300.000 frigories/heure. Les couches de houille recoupées sous 630 m. donnant des indices de venues aquifères, on fit précéder le creusement par un sondage de reconnaissance. Ce sondage fut foré à travers un tube guide scellé dans le terrain par cimentage, d'abord au diamètre de 75 mm. jusque 642 m. 50, puis de 40 mm. jusque 650. Il décela à ce niveau d'assez importantes venues d'eau 1.400 l/heure, à 30°.

Le fonçage fut alors repris avec pose du cuvelage en descendant jusque 644 m. 97 où on établit une trousse, puis on creusa jusque 654 m. 42 avec pose en descendant, d'un cuvelage extérieur de 6 m. 86 de diamètre. La venue atteignit à la traversée de la couche aquifère 9 m<sup>3</sup> 5 à l'heure. On poussa ensuite le creusement jusque 660 m. et on construisit pour cette dernière passe un revêtement en béton de 90 cm. d'épaisseur de 660 m. jusque 644 m. 97.

On procéda alors à la pose du cuvelage correspondant à la passe bétonnée 512 — 585 m.

On entailla d'abord le massif de béton de la chambre de congélation et on prolongea le cuvelage, puis on procéda au démontage de l'installation de reprise de congélation, cimenta les trous de sondages, combla la chambre de congélation et acheva d'élever le cuvelage jusque 512 m.

Le raccord s'établit par un anneau spécial.

Ces travaux terminés, le creusement fut poussé en profondeur dans le houillier.

Les passes furent les suivants : 660 m. — 671 m. 90 — 682 m. 50 — 705 m. 65 — 725 m. — 733 m. 75 et ainsi de suite jusqu'à 808 m., base du puits.

Des acerochages furent établis à 727 m. et 791 m. A 735 m., on réserva une galerie pour les venues d'eau. Lors du creusement, les veines de charbon donnèrent d'assez importantes venues d'eau salée qui se stabilisèrent rapidement à des valeurs moindres. Parfois ces venues s'accompagnèrent de soulèvement des terrains immédiatement supérieurs.

### CUVELAGE ET REVETEMENT

Le revêtement initialement envisagé comportait : un cuvelage simple à épaisseur croissante sur toute la passe congelée soit jusque 512 m., un revêtement en béton sur la passe cimentée, c'est-à-dire jusqu'à la tête du hervien (580 m.), un cuvelage double pour la traversée du hervien, un muraillement en béton dans le houillier.

A la réalisation, cette combinaison de cuvelage en acier et de revêtement en béton présenta des défauts et on en revint à établir un cuvelage continu sur toute la hauteur des morts terrains.

#### *Cuvelage simple*

Le cuvelage est en fonte du type ondulé. Vers l'intérieur, les anneaux présentent des nervures qui correspondent à des sillons extérieurs. Il y a ainsi par anneau de 1 m. 497, deux nervures horizontales. La liaison des segments se fait par neuf boulons.

Les trusses étaient en général constituées de deux anneaux de 350 et 320 mm. de haut, 500 et 425 de profondeur, assis sur une banquette ménagée lors du creusement.

A la base et à la tête de chaque passe aquifère, ces trusses furent picotées à refus après bétonnage de l'espace annulaire laissé derrière les anneaux.

Aux joints, on plaça des feuilles de plomb, qui s'écrasèrent sous la pression et furent matées de manière à rendre les joints étanches. Cette opération réduisit considérablement les venues d'eau.



L'épaisseur du cuvelage croît avec la profondeur, de 30 mm. à 100 mm.

*Cuvelage double.* — Lors de la traversée de la passe de sables bouillants à la base du hervien, on a été amené, vu les conditions dans lesquelles cette nappe se présentait, à employer un revêtement avec cuvelage double.

Le cuvelage extérieur est constitué par des anneaux d'un mètre de haut, et de 6 m. 86 de diamètre. Le cuvelage intérieur, du diamètre de 5 m. 80, est également constitué par des anneaux d'un mètre de haut.

Les épaisseurs des pièces sont de 120 mm. pour le cuvelage extérieur et 150 mm. pour le cuvelage intérieur.

Le cuvelage double est établi entre les profondeurs de 603 et 631 m. Le cuvelage intérieur est prolongé vers le haut et vers le bas jusqu'à 644 m. 21, au puits numéro 1, et 644 m. 97 au puits numéro 2.

Comme dans le cas de cuvelage simple, on bétonna et on cimentait derrière les anneaux du cuvelage extérieur ainsi que dans l'espace annulaire laissé libre entre les deux anneaux. Les anneaux sont placés de manière à présenter des joints alternants.

*Revêtement en béton de la passe 508 m. ou 512 m. — 580 m. environ*

Sur cette hauteur, le creusement avait été poursuivi, au travers de craies cohérentes cimentées ne présentant aucune trace de nappes aquifères. Le cuvelage ne paraissait pas nécessaire. Aussi décida-t-on de munir cette passe d'un simple revêtement de béton.

Ce revêtement était constitué de clavaux de béton de 770 mm. × 250 mm. × 80 mm. formant un revêtement cylindrique de 6 m. 60 de diamètre intérieur, derrière lequel on établissait jusqu'à la roche creusée au diamètre de 7 m. 40, un remplissage de béton armé de 30 cm. d'épaisseur au minimum. La liaison entre les clavaux et le béton était réalisée de la manière suivante : A mi-hauteur du clavaux un fer ondulé avait été noyé lors de la prise. Ce fer présentait des saillies extérieures constituant trois boucles qui étaient reliées par des crochets aux barres verticales d'armature du remplissage.

Le diamètre intérieur était fixé à 6 m. 60, dans l'appréhension de devoir poser un cuvelage intérieur. Cette nécessité s'est fait sentir après l'accident survenu au puits numéro 1.

Un sondage perdu provoqua la mise en communication de la nappe du tuffeau avec un banc inférieur de craie. Sous l'action de la poussée de l'eau, le revêtement céda provoquant l'afflux de l'eau dans le puits et son remplissage. Le béton s'était réellement décollé de la craie. Avec une fracture se produisant postérieurement dans les roches, le revêtement pouvait aussi être mis en communication avec une nappe à la poussée de laquelle il eut été incapable de résister. Aussi à la suite de cet accident, après avoir réalisé la cimentation du sondage abandonné et épuisé les eaux du puits a-t-on procédé à la pose du cuvelage sur toute cette passe. La même opération a été réalisée au puits numéro 2.

Les pièces de ce cuvelage étaient constituées de segments d'anneaux de 1 m. 50 de haut avec nervures intérieures identiques au cuvelage des passes supérieures.

Au puits numéro 1, la pose de ce cuvelage s'est faite en descendant et la liaison a été établie entre le revêtement de béton et le cuvelage, par injection de ciment derrière le cuvelage après achèvement du cuvelage. Au puits n° 2, la pose du cuvelage a été exécutée en montant et la cimentation derrière le cuvelage s'est faite à mesure de la pose du cuvelage.

*Revêtement en béton sous 644 m.*

La partie inférieure du puits a été bétonnée sur 90 cm. d'épaisseur. On était en terrain houiller donc à parois résistantes. On n'avait plus à résister à des nappes aquifères. Des venues aquifères se sont cependant manifestées à la traversée des couches, mais elles ont rapidement diminué d'importance et il n'a pas été nécessaire d'employer un revêtement spécial. Une surépaisseur du bétonnage a suffi. Localement, cependant, on a placé à l'intérieur dans le béton quelques anneaux de cuvelage.

#### **Pose du cuvelage.**

Le cuvelage simple fut ordinairement placé en montant après creusement d'une passe.



On ménagea à la base une banquette soigneusement arrasée où l'on établit les trousses avec bétonnage derrière et parfois picotage. On éleva ensuite le cuvelage par poses successives des anneaux. Le travail fut mené avec toutes les précautions nécessaires pour le raccord des boulons, le maintien d'une section circulaire sans ovalisation, et aussi pour éviter la rotation du cuvelage.

Au fur et à mesure de la pose des anneaux, on procéda au pilonnage du béton derrière le cuvelage. La passe étant achevée, on opéra alors le matage des joints de manière à assurer l'étanchéité.

Dans le même but, les boulons furent munis de rondelles en plomb.

Après avoir posé le cuvelage de quelques passes, on procéda à l'opération de raccordement avec les passes supérieures en plaçant entre le cuvelage élevé dans une passe et l'anneau de trousse immédiatement supérieur, un anneau spécial de raccord dont les dimensions étaient telles qu'il se plaçait exactement dans l'intervalle laissé vide. Cet anneau était monté segment par segment et après la pose de l'un de ceux-ci, on bétonna derrière. Après la pose du dernier segment, on injecta derrière celui-ci du ciment afin d'établir le contact avec le terrain. Cette injection se fit par une ouverture ménagée dans le segment.

Les joints de ces anneaux furent picotés avec des coins de bois sur 40 à 52 mm. de hauteur.

Pendant le creusement, au début, on maintenait les parois par un soutènement provisoire de madriers et d'anneaux boulonnés. A la suite de poussées violentes de terrains, ce soutènement a cédé ou s'est calé entraînant de ce fait des travaux spéciaux de démontage. Aussi a-t-on adopté le creusement sans soutènement dans le cas de terrains rendus cohérents et résistants le creusement avec un soutènement réduit dans le cas de chute possible de fragments de parois et le creusement avec pose de cuvelage en descendant lorsque les poussées et le danger étaient trop grands.

Cette méthode de travail est plus lente, le montage des pièces est plus difficile, mais la sécurité du travail de creusement est accrue et le soutènement des parois meilleur. Cette manière de

procéder est particulièrement intéressante dans le cas de terrains prenant mal la congélation et sujets à de fortes poussées.

Le bétonnage se fait derrière les anneaux sitôt leur pose achevée.

\* \* \*

Pour la pose du cuvelage double, on a suivi le programme suivant :

A partir de la base du massif de béton destiné à maintenir les tubes-guides des sondages congélateurs jusque 603 m., on plaça le cuvelage intérieur de 5 m. 80 de diamètre en descendant. Le premier projet envisageait la pose de ce cuvelage en montant après creusement de toute la passe. Les poussées de terrains ne permirent pas de réaliser ainsi le travail.

Sous 603 m., on creusa à plus grand diamètre et on plaça en descendant les anneaux de cuvelage à grand diamètre. Ces anneaux étaient immédiatement cimentés. Les anneaux de tête furent picotés à refus.

Au puits n° 1, la trousse de base de ce cuvelage extérieur fut placée à 634 m. 50 en bon terrain dans le houiller. Une banquette circulaire en béton fut établie au niveau de cette trousse extérieure, sur laquelle on éleva le cuvelage intérieur qui fut pour suivi jusqu'à la chambre de congélation avec démontage de cuvelage de la passe supérieure (598 — 603). Ensuite, on établit un cuvelage simple jusque 646 m. 71, avec deux trousses à 646 m. 71 et 649 m. 21.

Au puits numéro 2, le cuvelage extérieur fut arrêté à 627 m. 32. La trousse de base du cuvelage intérieur fut placée à 629 m., et le cuvelage vint se raccorder au cuvelage de la passe supérieure (598 — 609 m.). Ensuite, on établit un simple cuvelage sous 629 m., avec trousse de base à 644 m. 97.

*Pose du cuvelage de la passe bétonnée (508 — 585).*

Au puits numéro 1, après avoir paré aux conséquences de l'accident qui s'était produit dans cette passe et réduit par cimentation l'importance de la brèche, on entreprit l'épuisement du puits et simultanément la pose du cuvelage en descendant.



Les anneaux étaient successivement suspendus par boulons à l'anneau précédemment placé. Les pièces étaient descendues dans le fond par treuil; elles étaient accrochées par des trous de boulon à des crochets de forme spéciale.

Les ouvriers pendant ce travail, se tenaient sur un plancher mobile comme dans tout travail de montage de cuvelage, mais ici le plancher suspendu au câble de manœuvre était calé dans le revêtement provisoire par des verrous pénétrant dans des potelles spécialement aménagées à cet effet et de plus accroché par des fortes chaînes aux brides de l'anneau précédemment achevé.

La cimentation se fit pour la partie supérieure à 553 m., après achèvement de la pose du cuvelage sur cette hauteur. En dessous, la cimentation fut opérée à mesure de la pose du cuvelage. A 553 m., devant la brèche donnant venue d'eau, on établit un captage de la venue d'eau. Cet anneau fut cimenté après achèvement du cuvelage.

Au puits numéro 2, on éleva ce cuvelage directement à partir de la chambre de congélation après comblement de celle-ci. La cimentation se fit progressivement à mesure de l'avancement.

Les raccords furent effectués par des anneaux spéciaux.

#### *Soutènement provisoire des chambres de congélation*

Le soutènement provisoire de la chambre de congélation était constitué par un muraillement en maçonnerie de 0 m. 75 d'épaisseur en forme partie cylindrique et partie tronconique.

#### *Parachèvement du cuvelage*

Avant la décongélation, le cuvelage subit une révision complète, matage des joints, remplacement des pièces brisées, vérification des rondelles de boulons destinées à réaliser également l'étanchéité et remplacement de celles qui présentaient des défauts. Après la décongélation, on opéra un nouveau matage des joints destinés cette fois à réduire les venues d'eau qui suintaient du fait de la libération de nappes.

#### **Les raccords.**

Une question importante dans la résistance et la sécurité des cuvelages est celle des raccords.

On a employé à Beeringen quelques types de raccords qui ont donné satisfaction.

On avait d'abord réalisé ces raccords suivant le procédé ordinaire.

Les anneaux de raccord avaient leur joint supérieur au contact de la trousse picoté. Ces picotages en bois s'étant montrés défectueux on décida de leurs substituer d'autres raccords.

Ainsi, au puits numéro 1, on a placé les raccords suivants : à 171 m. 40, on substitua au picotage, une roue en fonte constituée par douze segments. Les dimensions de cette roue étaient : 215 mm. de largeur, 35 mm. d'épaisseur. Les joints étaient matés au plomb afin d'assurer l'étanchéité. Cette roue était ensuite reliée à la trousse et à l'anneau sous-jacent par des boulons, la traversant ainsi que les brides, dans des trous forés sur place.

A 224 m. 86, au lieu d'un joint picoté sous une trousse de 430 mm. sur 320 mm., on établit une double trousse constituée d'un anneau de 420 x 320 avec une épaisseur de 50 mm. et d'un anneau de 620 x 350, épais de 78 mm. (même épaisseur que le cuvelage).

Sous cet anneau, on plaça au diamètre de 6 m. 65, à 20 cm de la paroi du puits préalablement élargi en ce point, deux anneaux lises de 1 m. 50 de haut à deux nervures horizontales et épais de 40 mm., anneaux perdus dans un massif de ciment et béton. Au diamètre de 5 m. 80, on plaça pour masquer l'ouverture libre sous la trousse inférieure un anneau lisse spécial à une nervure horizontale dont les joints furent matés au plomb.

Le cimentage se fit après la pose de cet anneau par injection derrière le cuvelage grâce aux ouvertures ménagées à cet effet dans les pièces.

La liaison fut faite également avec les trusses supérieures.

Au puits numéro 2, on eut recours à 175 m. 98 au dispositif de raccord suivant :

A la tête du rupélien, on installa trois anneaux de trusses ayant respectivement les dimensions ci-après :

- 280 mm. et 500 mm. avec 90 mm. d'épaisseur ;
- 280 mm. et 500 mm. avec 110 mm. d'épaisseur ;
- 500 mm. et 300 mm. avec 50 mm. d'épaisseur.



Sous cette trousse au diamètre de 6 m. 60, on accrocha deux anneaux lisses de 30 mm. d'épaisseur. Le raccord de la passe supérieure avec la passe inférieure fut réalisé par le placement d'un anneau spécial de raccord ayant son joint supérieur picoté. L'épaisseur du cuvelage était de 45 mm.

Ce dispositif fut placé à la tête de la passe que l'on dut creuser à nouveau dans le sable de remplissage jeté au fond du puits lors de l'accident du 18 août 1912.

Il s'est caractérisé par *l'emploi du picotage frontal*, sans qu'on ait à enregistrer de déféctuosité. Mais il est à remarquer que ce picotage est protégé par les anneaux lisses extérieurs noyés dans du ciment de part et d'autre. Il en a été de même dans certains joints au puits numéro 1. Le picotage frontal protégé par un anneau lisse fixé sous la trousse et noyé dans le ciment a parfaitement joué son rôle de joint. De même aussi les points picotés protégés à l'extrados par un muraillement.

### OUTILLAGE DU CREUSEMENT

Le creusement fut assez aisé au début, le noyau central ne présentant pas de consistance et pouvant être facilement enlevé. A la périphérie, on devait enlever une couronne de 1 m. 60 en moyenne de sable congelé. Ce travail fut effectué aux aiguilles avec emploi de marteau de 5 kilos, sans explosifs. L'avancement fut d'environ 2 m. par jour.

Après 60 m., on fut forcé d'employer des explosifs afin d'activer l'avancement. Pour faciliter le creusement, on essaya d'employer les marteaux perforateurs du type Flottmann.

Des dépôts de givre provoquèrent de fréquentes et persistantes obstructions des tubes de conduite.

Successivement, on tenta de les supprimer en aspirant l'air à comprimer dans le puits à 25 m. sous le niveau du sol, en remplaçant les conduites de 50 mm. par des conduites de diamètre supérieur — 70 mm. — enfin, en refroidissant l'air comprimé dans des chambres bétonnées où on disposait des radiateurs parcourus par le liquide réfrigérant.

L'air ayant été refroidi dans ces chambres à température suffisamment basse pour amener une congélation presque totale

de son humidité, on put l'injecter dans les conduites sans crainte d'obstruction.

Dans ces conditions, on put employer la perforatrice à air comprimé.

Au début de la guerre, on put poursuivre le creusement à la poudre noire comprimée. Quand l'emploi d'explosif fut interdit, on continua le creusement au marteau piqueur actionné à l'air comprimé. On utilisa aussi l'aiguille coin sous martelage pneumatique.

Il en fut de même lors du creusement du passage de la nappe aquifère du hervien. L'emploi des marteaux pneumatiques donna d'excellents résultats.

Dans le houiller, le creusement fut exécuté par les procédés ordinaires.

Au cours du creusement, l'éclairage se fit à l'électricité avec câbles isolés; l'aérage, par ventilateurs en surface chassant l'air dans des canars débouchant près du fond de l'avaleresse; quant à l'épuisement, il se fit à la tonne, ou dans le cas d'épuisement important, par des pompes mobiles. A la base du cuvelage, on établit, lors du creusement profond, un plancher réservoir pour recueillir l'eau qui suintait et une pompe qui aspirait dans ce réservoir.

Le revêtement provisoire, lorsqu'il fut employé, consistait en madriers jointifs calés entre le terrain et des anneaux métalliques constitués de fer U.



## Concession de Heltcheren-Zolder

### *Siège de Voort*

Le siège de Voort a été établi au voisinage du sondage de reconnaissance n° 79 qui donne une coupe normale des diverses assises que l'on devait recouper avant d'atteindre le houiller.

La coupe du sondage n° 79 peut se résumer ainsi qu'il est indiqué ci-contre.

Première nappe. — Sables tertiaires aquifères . . .	m.	0—102		
Argiles imperméables . . .	m.	102—180		
Deuxième nappe. — Sables tertiaires aquifères . . .	m.	180—291		
Argiles imperméables de base du tertiaire . . .	m.	291—352		
Troisième nappe	}	Tuffeau Maestricht aquifère . . .	m.	352—412
		Craie blanche à silex . . .	m.	412—470
		Marnes imperméables . . .	m.	470—578
Quatrième nappe. — Sables de base du Hervien, aquifères . . .	}		m.	578—595
		Argilites. . . . .	m.	595—603
<i>Houiller.</i>				

Afin de reconnaître la nature et l'état des nappes aquifères de profondeur, c'est-à-dire celle des terrains crétaciques et anté-crétaciques, on fora deux sondages de reconnaissance jusque 608 m., le sommet du houiller étant à 603 m.

Des essais d'épuisement furent exécutés sur les deux sondages, afin de déterminer la situation des venues et leur intensité, les possibilités de fonçage et les méthodes à employer. Des résultats de ces essais, on put déduire l'existence de nappes aquifères dans l'assise de Nouvelles (crétacé) et dans le hervien. A la base de celui-ci, on contrôla l'existence d'une nappe aquifère importante dans des sables ébouleux. Sur ces bases, le projet de fonçage put être établi avec une quasi-certitude des difficultés à vaincre.

Ce projet envisageait : la congélation des morts-terrains sur toute leur hauteur, mais au préalable la cimentation des assises inférieures au tuffeau, ce niveau ne supportant pas la cimentation, c'est-à-dire des assises de Spiennes, Nouvelles, des argilites, marnes herviennes, cette cimentation suppléant aux incertitudes sur lesquelles on devait compter quant à la résistance du mur de glace à cette profondeur.

Tel était le projet élaboré en 1913 et dont la réalisation fut abordée dès 1914.

### LES AVANT-PUITS

Des avant-puits furent creusés et maçonnés, sur un type analogue à celui des autres concessions.

Les tours furent édifiées sur fondation en béton pour leur donner une assise suffisante. Les sondages de congélation, au nombre initial de 38, étaient disposés sur une circonférence de 12 m. 50 de diamètre.

### CIMENTATION

L'intérêt de cette cimentation préalable est discutable. Le succès de la congélation sur toute la hauteur permet actuellement de la supprimer. Il reste évidemment à cette opération le bénéfice d'un renforcement du revêtement.

Elle fut réalisée à Voort sur la hauteur 400-580 m. par six sondages répartis uniformément sur le cercle de sondage de 12 m. 50 de diamètre.

La cimentation se fit par passes successives de 30 à 40 m. Après forage de cette hauteur, on effectuait un lavage à l'eau claire pour bien nettoyer les fissures; on terminait par une brusque succion par injection d'air comprimé, succion provoquant un afflux des eaux du terrain.

On injectait ensuite le lait de ciment sous des pressions qui oscillèrent entre 30 et 35 kg/cm<sup>2</sup>. Malgré ces pressions élevées, la quantité de ciment injectée fut cependant peu importante.

Comme on achevait cette opération au puits n° 1 et allait l'entreprendre au puits n° 2, la guerre survint amenant l'arrêt complet du travail.



**CONGELATION**

L'installation frigorifique a été résumée dans le croquis annexé à ce rapport (1).

Elle comportait sept compresseurs à ammoniaque du type Fixary, produisant chacun 250.000 frigories à l'heure. Ces compresseurs étaient actionnés par machines à vapeur.

L'eau d'alimentation était puisée dans les nappes aquifères vomies par un sondage capteur. La mise en marche des sept compresseurs fut réalisée du 1<sup>er</sup> octobre à fin novembre 1920.

Le débit de saumure atteignit 230 m<sup>3</sup> à l'heure.

La circulation se faisait dans 45 tubes congélateurs poussés à 620 m. et 10 tubes supplémentaires poussés seulement à 400 m., c'est-à-dire jusqu'à la zone cimentée. Ces tubes auxiliaires étaient principalement placés pour activer la fermeture du mur de glace et permettre le début rapide du fonçage.

Le nombre de compresseurs en activité au puits n° 1 pendant les débuts fut en moyenne de 6. Le débit en saumure resta aux environs de 200 m<sup>3</sup> heure.

La température de la saumure atteignit de — 11 à — 12° après un mois de marche.

L'écart de température entre la température d'entrée et celle de sortie qui était au début de 4 à 5°, atteignit dès que la température d'entrée se stabilisa à — 12° de 7 à 8° puis décru progressivement jusque 6 à 5° après trois mois de fonctionnement. Le détail de cette décroissance de température est expliqué et étudié dans la première partie. Ces chiffres concernent le puits n° 1.

Au puits n° 2, après essais, la congélation commença le 28 octobre 1921.

**Sondage central de contrôle**

Les niveaux aquifères étaient au nombre de quatre : le premier dans les sables tertiaires supérieurs (0 — 102) ; le second dans les sables landeniens (179 — 291) ; le troisième dans le tuffeau et la craie fissurée en partie obstruée par la cimentation (350 — 466) et le quatrième dans le hervien à sa base (577 — 603).

(1) *Annales des Mines de Belgique*, tome XXXI, p. 1116.

Il fallait pouvoir suivre la fermeture du mur de glace dans ces différents niveaux.

La variation des venues d'eau dans l'avant-puits donnait les indications relatives à la première nappe. Le sondage foncé au centre devait donner les résultats dans les autres nappes. En conséquence, il fut équipé avec trois tubes concentriques : le premier de 10'' 1/2 allant jusque 180 m., c'est-à-dire atteignant la seconde nappe ; le second de 8'' fut poussé jusqu'à la troisième nappe ; le troisième, enfin, de 5'' atteignit la base du hervien.

Le 1<sup>er</sup> mars, l'espace annulaire entre les tubes de 10''5 et 8'' débitait annonçant la fermeture du second niveau.

Le 1<sup>er</sup> avril, le tubage de 5'' de diamètre débitait à son tour, le mur était fermé dans le hervien.

On ne possédait aucune donnée pour le niveau du crétacé. On craignit un ensablement du tube de 8'' à sa base, par débris du tuffeau. Aussi établit-on vers le 15 mai, une communication entre le tube de 5'' et cette nappe, en forant sur toute la hauteur 380-460 une série d'ouvertures et on constata que la nappe du crétacé n'était pas encore congelée. Ce fut seulement le 7 juin que le sondage débita à ce niveau.

Au cours du creusement, on a pu déterminer les températures aux parois : On a ainsi relevé — 3° à 108 m. ; — 2° à 152 m. ; — 5°9 à 190 m. ; — 3° à 423 m. (les températures sont donc supérieures dans les passes non aquifères) ; — 6°5 à 466,50 m. ; — 9° à 506 ; — 6° à 535 m. ; — 10° à 573 m. ; — 12° à 582 m. ; — 9° à 609 m. (tête du houiller) ; 0° à 618 m. (base de la congélation). Les roches reprenaient alors assez rapidement la température de 16° environ.

Des constatations analogues ont été établies au puits n° 2.

**CREUSEMENT****Puits N° 1.**

Avant d'entreprendre le creusement, il fallait veiller à consolider la tête du puits sur laquelle prendrait appui le revêtement provisoire qui serait posé en descendant.

Pour ce faire, dès que la nappe supérieure fut fermée, on creusa sur une hauteur de 4 m. 50, et l'on plaça sous le radier



de la tour et dans l'avant puits trois anneaux de cuvelage contrebutés par un fort bétonnage.

Le creusement fut abordé au puits n° 1, le 20 avril 1921. Le travail s'effectuait en trois postes de huit heures.

Le 13 mai 1921, on atteignait 83 m.; l'avancement journalier était de 3 m. 75 environ. La première trousse fut posée à ce niveau et le cuvelage posé en remontant jusqu'à 6 m. Ce travail dura vingt-huit jours, l'avancement journalier fut donc de 2 m. 75. L'espace entre le cuvelage de tête et le cuvelage de cette première passe devait être fermé par un anneau spécial.

Après matage des joints, on reprit le creusement qui fut poussé jusque 109 m. A ce niveau, on voulut opérer le sectionnement des 107 m. supérieurs du sondage central qui encombrait le puits.

#### Accident du 26 juin 1921.

Au cours de cette opération, une venue d'eau se produisit au fond du puits. On déversa 750 m<sup>3</sup> de sable de manière à créer un bouchon de 10 m. environ et on combla le puits d'eau. Cette opération causa un désastre. Le quatrième anneau du cuvelage manquant et le cinquième n'étant pas bétonné, dès que cette zone fut inondée, il en résultat une décongélation et une déici-mentation du cuvelage.

Le cuvelage de tête (anneaux 1, 2 et 3) croula, le sol dégela superficiellement et, céda, provoquant un cône de ravinement atteignant jusqu'aux tubes congélateurs. On épuisa l'eau de manière à maintenir le niveau d'eau sous l'anneau n° 5 qui présentait sept segments brisés. On combla l'excavation avec des sacs de sable. Craignant une décongélation complète derrière le cuvelage, on remblaya le puits en y déversant du sable jusqu'à la profondeur de 70 m.

On essaya ensuite de déterminer la nature de la rupture du mur de glace. Était-ce la rupture d'un tube congélateur? L'inspection des tubes amena la découverte de deux sondages qui avaient crevé dans le crétacé. Le liquide congélateur en se répandant avait donc décongelé la masse.

Ces deux sondages furent mis hors service et remplacés. On reprit la congélation. Cependant l'examen de débits dans le sondage central et dans un sondage voisin où l'on captait l'eau

du crétacé vérifiait l'exactitude des premières constatations; la décongélation s'était produite dans le crétacé et l'eau qui refluaait dans le puits avait provoqué l'accident.

La congélation put être très bien suivie par les témoins que l'on possédait; le puits comblé partiellement était rendu indépendant du sondage grâce au bouchon établi à sa base et donnait des indications pour la progression de la congélation entre 109 m. et 83 m.

Le tube du sondage central comparé quant à son débit et à ses fluctuations avec le sondage voisin donnait des indications relativement à la congélation du crétacé. Le hervien lui-même avait été décongelé car les mesures effectuées et les essais entrepris (injection d'eau au sondage central après fermeture de la brèche du crétacé) montraient nettement qu'une dernière nappe libre existait. Ce ne pouvait être que celle du hervien.

Le 19 août, le sondage débordait; donc le puits était à nouveau congelé.

Immédiatement, on entreprit l'épuisement à la tonne et la réparation du cuvelage, d'abord les anneaux de tête, ensuite les anneaux qui s'étaient brisés en profondeur sous les efforts subis.

Le creusement put enfin être repris. A 112 m. 50, on découvrit que le tubage de 10 1/2 du sondage central était crevé. La genèse de l'accident s'expliquait donc: Deux sondages s'étant rompus dans le crétacé, le liquide congélateur s'était répandu décongelant la roche et provoquant la rupture du mur de glace. Le même phénomène s'était produit dans le hervien par seule suppression de l'action congélatrice de ces tubes.

L'eau avait ainsi flué dans le tube du sondage central et, comme celui-ci était crevé à 112 m. 50, avait coulé dans le puits par le fond.

#### REPRISE DE CREUSEMENT

A 114 m. 50, on plaça la trousse et on procéda au cuvelage de la passe: 114 m. 50 — 83 m. Puis le creusement fut repris et poussé à 152 m. où l'on plaça une nouvelle trousse. Le travail se continua alors sans accident. On posa des trusses aux niveaux de 174 m. 50, 222 m. 50, 255 m. 50, 285 m. A partir de ce niveau, le cuvelage fut placé en descendant jusque 406 m. Sous ce niveau, on reprit le creusement direct jusque 433 m., puis à nou-



veau le creusement et le cuvelage simultané jusqu'au houiller à 607 m. 10. De 607 m. 10 à 633 m. 40, dans la tête du houiller, le cuvelage fut à nouveau fixé en remontant.

A partir de 565 m. 20, le cuvelage est double. La base de ce cuvelage est à 633 m. 40. Ce cuvelage fut également fixé en descendant.

Sous le niveau de 633 m. 40, le revêtement se fit en maçonnerie. Le creusement s'effectua par les procédés ordinaires de fonçage en terrain résistant.

L'avancement fut réduit à 0 m. 85 par jour. La maçonnerie se fit en remontant par passes successives : 665,32-633,40 ; 700-665,32 ; 722,40-700.

A 717 m. 50, on établit les installations de l'étage de retour d'air. Le puits fut élargi à 6 m. 80 de diamètre intérieur. Les nouveaux de direction NS ayant des sections de 3 m. 60 sur 3 m. 20 de haut furent amorcés sur 10 m. de longueur. L'avant-dernière passe va de 802 m. 40 à 722 m. 40. Les chambres d'accrochage sont installées à 798 m. 20. Le puits a été ensuite approfondi à 825 m.

Le travail de fonçage et de revêtement était terminé le 21 octobre 1924.

La revision générale du puits immédiatement entreprise a été achevée le 23 décembre 1924.

Le 30 décembre, on commençait les travaux de décongélation.

### Puits N° 2.

Le creusement fut entrepris le 1<sup>er</sup> mai 1922 dès la fermeture des nappes aquifères supérieures. La première passe fut creusée jusque 60 m. 50. A ce niveau, on posa une trousse et on éleva le cuvelage.

A la reprise, une venue d'eau se fit jour par le fond. L'importance de la venue d'eau mettait hors de doute qu'il y avait une brèche dans le mur de glace de la nappe n° 1. On poursuivit avec épuisement (la venue était de 450 l/heure) en ayant soin de faire précéder le creusement par un sondage aux eaux.

Le creusement se fit avec cuvelage simultané posé en descendant. Ceci en prévision de tout accident, le cuvelage suppléant à un revêtement provisoire, insuffisant contre une décongélation.

La venue se maintint constante jusqu'à 71 m. 30, mais le sondage ayant atteint 75 m. 30, découvrit une venue subitement croissante qui atteignit 345 m<sup>3</sup>/heure. Les eaux ne contenaient aucune trace de saumure. La brèche ne pouvait provenir que de l'insuffisance du mur de place ; or celui-ci présentait un point faible à l'Est. Les cercles d'influence des sondages s'y recoupaient trop faiblement. On décida de creuser un sondage supplémentaire en ce point. La congélation de ce sondage réalisée le 23 août 1922, obtura rapidement la brèche. Après épuisement du puits que l'on avait noyé, le travail fut repris le 8 novembre.

Après un nouvel arrêt à 105 m., pour déterminer l'état du crétacé et pour vérifier si la nappe était fermée (déterminations qui ne donnèrent aucun résultat) on reprit le 28 mars 1923 le creusement en ayant soin de le faire précéder d'un trou de sonde, le sondage central ayant été comblé au ciment. Ce sondage fut fait au travers d'une vanne destinée à retenir l'eau.

Le cuvelage fut posé en descendant jusque 356 m. 50. Les passes 356,50-408 et 408-459,50 furent réalisées avec cuvelage posé en remontant.

Mais sous 459 m. 50, les terrains présentant trop de fissures, on fut forcé de reprendre le creusement avec cuvelage en descendant jusque 615 m. 05.

L'avancement journalier décroissait lentement avec la profondeur : de 0 m. 95 vers 200 m., il atteignit 0 m. 80 vers 400 m. et à la fin 0 m. 74.

Le cuvelage de la passe inférieure 633,50-615 m. 05 fut posé en remontant et raccordé au cuvelage supérieur par un picotage frontal.

Après révision du puits, on procéda à la décongélation.

### Accident survenu au cours de la décongélation aux puits N° 1 et 2.

Comme on épuisait après décongélation du puits n° 1, on s'aperçut qu'une importante venue d'eau s'était faite jour en profondeur : joint de cuvelage sauté, pièce brisée ou lézarde dans la maçonnerie ? Des recherches furent entreprises.

Un appareil à bras mobiles manœuvrés de la surface, qui fut descendu pour ausculter les parois, un dispositif de détection



électrique par différence de conductibilité des solutions ne donnèrent aucun résultat.

On décida de supprimer toute communication entre le terrain houiller et les morts terrains en injectant dans le houiller du ciment. Les tubes congélateurs ayant été dépouillés de leurs tubes intérieurs, nettoyés, percés à la base et le terrain ayant été lavé, on y injecta un lait de ciment à 5 % de ciment. Cette injection ne put être réalisée que par six sondages utilisables. Les venues d'eau furent supprimées et l'on put épuiser le puits.

#### *Au puits numéro 2*

Lors de l'épuisement après décongélation, on s'aperçut que le cuvelage à hauteur du hervien était insuffisant et donnait d'importantes venues d'eau. On dut opérer alors une recongélation. Afin de ne pas soumettre le cuvelage à une compression exagérée, on opéra cette recongélation par congélateurs et on ne ferma le mur que lorsqu'il eut atteint sur toute la périphérie son épaisseur voulue.

Ainsi l'eau put fluer vers l'extérieur de l'anneau de glace et ne fut pas enserrée entre le cuvelage et le mur de glace.

### CUVELAGE

Le cuvelage est simple sur presque toute la hauteur du puits en morts-terrains. A la base, il est renforcé par un cuvelage extérieur.

Le cuvelage intérieur est en fonte à surface extérieure ondulée et nervuré intérieurement. Ses caractéristiques sont analogues à celles des cuvelages employés dans les autres puits.

Le cuvelage extérieur est en acier. Les anneaux ont un mètre de haut. Le réseau de nervures est plus serré, mais celles-ci sont également plus fines.

Un anneau spécial réalise la liaison entre les deux passes à cuvelage simple et cuvelage double.

Les joints sont gainés de plomb. Les raccords sont picotés frontalement dans une rainure en queue d'aronde avec talon extérieur. Un couvre joint intérieur renforce la tête des picots.

Derrière le cuvelage et entre les anneaux du cuvelage double, on dama du béton ou on injecta du ciment suivant les cas.

## Concession des Liégeois en Campine

*Siège de Zwartberg à Genck*

Ce siège est équipé avec deux puits indépendants distants l'un de l'autre de 100 m. Le puits d'extraction a une profondeur de 860 m., il dessert les étages de 740, 780 et 840 m. où des recettes sont aménagées.

Le second puits d'aérage sert également à l'extraction. Il a une profondeur de 780 m. avec accrochages à 740 et 780 m. Les installations d'épuisement sont établies à 780 m.

### Coupe des terrains.

Les puits n° 1 a été établi à l'endroit même où l'on avait foncé le sondage n° 82.

Le puits n° 2 est voisin de 100 m.

La coupe des terrains recoupés nous est donc parfaitement donnée par le sondage n° 82. Nous l'avons résumée dans le tableau ci-joint :

Sable quaternaire . . . . .	m.	0 - 22,10
<i>Tertiaire :</i>		
Sable, glauconifère à la base, avec un banc d'argile tongrienne à 200 m. . . . .	m.	22,10-265,00
Argile du landenien et du heersien . . . . .	m.	265,00-331,30
<i>Secondaire :</i>		
Tuffeau et craie grossière . . . . .	m.	331,30-387,40
Craie grise à silex . . . . .	m.	387,40-455,40
Marne . . . . .	m.	455,40-542,00
Sable de base des morts-terrains . . . . .	m.	542,00-550,00
<i>Houiller à</i> . . . . .	m.	550

Les sables du tertiaire, le tuffeau et les craies grossières du secondaire de même que les sables immédiatement supérieurs au houiller sont aquifères.

### Procédé de fonçage.

La Direction et la Société concessionnaire du fonçage avaient envisagé un moment l'emploi de la cimentation du moins pour



la traversée de certains bancs, ainsi qu'elle était envisagée et entreprise dans d'autres concessions.

Des essais de cimentation furent entrepris préalablement à l'adoption définitive du procédé au sondage n° 82 pendant l'année 1911.

Ces essais comportaient :

L'injection de ciment sous pression dans les assises où l'on espérait pouvoir réaliser la cimentation et la notation des quantités de ciment absorbées et des pressions d'injection.

Le résultat fut peu satisfaisant. En effet, les venues d'eau des sondages voisins que la cimentation aurait dû atteindre ne montraient aucune variation.

Devant la conclusion de cet essai, on décida définitivement de congeler l'ensemble des morts-terrains et même de pénétrer dans le houiller au moins dans la zone superficielle du socle paléozoïque. La profondeur de congélation fut fixée à 565 m. Le houiller avait été rencontré dans le sondage à 550 m.

### CONGELATION

La congélation devait se faire par trente-huit sondages périphériques disposés sur deux couronnes concentriques dont les diamètres étaient respectivement de 10 m. pour la couronne intérieure et 12 m. pour la couronne extérieure. Les sondages étaient placés sur ces circonférences en alternant.

Ces sondages furent exécutés au trépan.

Pour mesurer les déviations des sondages en profondeur, il fut fait usage d'un dispositif nouveau dont la description et les résultats restent les secrets de la firme concessionnaire.

Au puits n° 1, on dut creuser sept sondages supplémentaires.

Au puits n° 2, on opéra une série de mesures de contrôle de déviation dès qu'on eut atteint 350 m. et on ne creusa que deux supplémentaires.

Les 45 sondages du puits n° 1 furent pourvus de tubes congélateurs sans soudures au diamètre intérieur de 125 mm.

Ce dispositif permettait la libre circulation de la saumure et réduisait les frottements, les dangers de fuite et de fissuration aux joints de soudure par contraction irrégulière.

Un sondage central fut réservé jusque 560 m. pour servir de témoin de la fermeture des murs de glace au niveau des différentes nappes aquifères. Il fut équipé comme les autres sondages de congélation précédemment décrits.

La centrale frigorifique mise en marche le 8 novembre 1913 pour la congélation du puits n° 1 comportait cinq compresseurs à CO<sub>2</sub> pouvant donner une puissance de 200.000 frigories/heure à -24°. Ce nombre fut bientôt porté à six. Fin décembre 1913, les températures mesurées étaient de -19° à l'entrée du collecteur, -12° à la rentrée.

La chute de potentiel thermique était donc pendant le début de la congélation de 7°. Après fermeture du mur de glace du tertiaire, les températures mesurées furent de -25° au départ et -19° à la rentrée de la saumure, soit une chute de 6°.

Le débit horaire mesuré à la pompe de circulation fut de 400 m<sup>3</sup>/heure en moyenne.

La fermeture du mur de glace au puits n° 1 fut constatée par l'emploi d'un sondage central. On l'utilisa également pour réaliser une série de mesure thermométriques afin de constater la progression de la congélation dans les différentes assises. Ce mur de glace était bien étanche et continu sur toute la hauteur.

Au centre, le noyau non congelé présentait à la surface un diamètre de 5 m. 60; à 180 m., 3 m. 15.

La guerre vint arrêter l'avancement des travaux. Le personnel allemand de la compagnie qui avait entrepris le fonçage abandonna les chantiers. Pendant l'arrêt du chantier, la société maintint en service pour conserver la congélation d'abord quatre compresseurs de 200.000 frigories par unité, ensuite trois unités seulement. Les températures moyennes étaient au départ de -19°3 et à la rentrée de la saumure de -16°8 soit une perte de 2°5 seulement. Le mur de glace se maintint absolument continu et hermétique.

La congélation fut entreprise au puits n° 2, après la guerre. Le nombre de sondages était de quarante. La centrale fonctionna sur ce puits dès le 20 novembre 1920 avec cinq unités frigorifiques, libérées par la fin de la congélation au puits n° 1.

Les températures initiales atteignirent après un mois, à l'entrée dans les tubes congélateurs, -13°, à la sortie de ceux-ci, -6°7, soit une perte de 6°3 en moyenne. Les cinq unités furent



portées à six dès le début de 1921. Les températures s'abaissaient et atteignaient rapidement  $-23^{\circ}5$  au départ du collecteur et  $-16^{\circ}9$  au retour, présentant toujours un écart de  $6^{\circ}6$  environ. La masse de circulation était un peu supérieure à celle mesurée au puits n° 1 et atteignait  $480 \text{ m}^3$  par heure. Au début d'août, la congélation était complète. Le débit restait à  $180 \text{ m}^3$  et les températures étaient redressées à  $-22^{\circ}9$  et  $-19^{\circ}2$  afin de maintenir la congélation.

La congélation présentait cependant des imperfections. Ainsi le mur du crétacé était incomplètement fermé, ce qui provoqua des venues d'eau fréquentes dès qu'on atteignit les niveaux du crétacé. Ces accidents étaient dus en grande partie à des écarts trop grands entre les sondages. En même temps que l'on remédiait à ces défauts en forant de nouveaux sondages aux points faibles, on renforça la congélation. Les températures atteignirent ainsi des valeurs de  $-28^{\circ}1$  au départ et  $-23^{\circ}6$  au retour. L'écart de température maintenu entre  $3^{\circ}7$  et  $4^{\circ}$  passait ainsi à  $4^{\circ}5$ .

Au puits n° 2, la congélation pénétra jusqu'au centre, les mesures effectuées aux parois du puits ont donné une température décroissante atteignant  $-11^{\circ}6$  au moins à 318 m. Le puits ayant été rempli d'eau à ce moment par suite d'une venue d'eau et la congélation intensifiée, on a pu mesurer les diverses températures de l'eau; au jour, elle était de  $0^{\circ}$ , à 50 m. de  $-0^{\circ}5$ . La diminution allait en se réduisant ensuite  $-0^{\circ}7$  à 100 m.,  $0^{\circ}8$  à 200 m.,  $-1^{\circ}$  à 300 m. Une épaisse couche de glace de plus de 0 m. 70 recouvrait les parois.

La congélation fut maintenue par six unités frigorifiques pendant tout le creusement. Dès que les brèches furent fermées par des sondages supplémentaires, la congélation fut parfaite.

Après pose du cuvelage jusqu'au houiller, la congélation fut maintenue avec une seule unité frigorifique.

## CREUSEMENT

### Puits N° 1.

Le service fut normalement effectué par des treuils électriques. Ces treuils furent montés et installés pendant les mois de janvier et février 1914.

On installa, de plus, comme appareil de secours :

Un treuil d'extraction à vapeur à attaque directe de 500 HP.;

Un treuil de manœuvre du plancher de travail actionné à la vapeur, d'un levage maximum de 30 T.

Le travail de creusement commença le 18 mars 1914, par quatre poste de six heures. Le creusement se faisait sur un diamètre de 6 m., le diamètre intérieur du cuvelage étant fixé à 5m. 25 et l'espace entre le terrain et le cuvelage devant être comblé par du béton sur une épaisseur moyenne de 25 cm.

Le travail était organisé de la manière suivante :

Creusement avec pose du cuvelage en descendant;

Après pose de quatre ou cinq anneaux, bétonnage derrière les anneaux.

Le 5 août 1914, la profondeur atteinte était de 184 m.

Les travaux furent interrompus jusqu'au 20 août 1915.

Le fond du puits avait été obturé en septembre 1914 par un bouchon de ciment de 5 m. d'épaisseur.

Le creusement fut repris au diamètre de 7 m., le cuvelage étant double sous ce niveau et le cuvelage extérieur ayant un diamètre intérieur de 6 m. Au passage des marnes de Gelinden, ce diamètre fut ramené à 6 m. 50, l'épaisseur du béton derrière le cuvelage étant réduite. Le travail se faisait suivant la même organisation qu'avant 1914 : creusement avec pose du cuvelage en descendant et bétonnage derrière celui-ci.

Le 24 février 1916, on atteignit la profondeur de 298 m. 25. Le travail de creusement fut arrêté pour procéder à la pose du cuvelage intérieur placé en remontant et prenant assise sur un mur de moellons établi à 298 m. 25. La pose de ce cuvelage fut terminée le 28 mai 1916.

Le 29 mai, on reprenait le creusement sous 298 m. avec pose du cuvelage extérieur en descendant par suite des poussées qui se produisaient dans les argiles du Landenien. A 345 m., le creusement fut arrêté, une trousse montée et le cuvelage intérieur de cette passe placé en montant. Ce travail achevé, on creusa au travers du tuffeau et des craies compactes. Le 7 février 1917, une trousse était picotée à 451 m. 80, base des craies compactes, dans un niveau imperméable.

Le travail dut alors subir un arrêt par suite d'une pénurie de cuvelage.



Le creusement repris le 8 juin fut poursuivi jusque 480 m. 40. On dégageda ainsi trois sondages aux parois, qui avaient été mis au préalable hors service. Après curage de ceux-ci, on y fit une série de mesure destinées à déterminer par la connaissance des températures, l'état de la congélation du hervien.

En mars 1918, on achevait le placement du cuvelage intérieur de 412 m. à 399 m. 30 et, en juillet, celui de la passe 399,30-345 m.

Tout le cuvelage étant monté sur les 450 m. supérieurs, on fonçait sous ce niveau, le mur de glace étant continu dans le hervien.

Le travail fut ralenti et même arrêté pendant des mois par suite du manque de cuvelage. Il fut cependant achevé en juin 1920. La base du cuvelage était établie à 575 m. 55 dans le terrain houiller. Le cuvelage pénétrait d'une vingtaine de mètres dans les schistes compacts qui constituaient ainsi un bouchon étanche à la base du revêtement. On aborda ensuite le travail de décongélation. Celui-ci ayant été abandonné, le creusement fut repris le 6 août 1921.

Il se faisait dans les schistes et grès du houiller. Le revêtement est en maçonnerie établie par passes avec des arrêts pour le creusement des envoyages; le creusement fut poursuivi jusque 860 m., 20 m. sous le dernier envoyage à 840 m.

Le travail était terminé le 20 juin 1923. Des envoyages étaient installés, à 780 et 840 m. Ils comportaient deux galeries à grande section vers l'Est et l'Ouest.

### Puits N° 2.

Le fonçage fut amorcé le 6 juin 1921.

Après pose de 7 m. 50 de cuvelage, il y eut arrêt, l'eau venant par le fond d'avaleresse. Repris le 16 août, le creusement se poursuivit suivant un plan analogue à celui du travail au puits n° 1.

Le cuvelage était placé en descendant au fur et à mesure de l'avancement. Celui-ci fut de 2 m. par jour, mais décrut rapidement pour atteindre bientôt 1 m. 25. Le travail se faisait en trois équipes.

Le cuvelage fut, au puits n° 2 comme au puits n° 1, simple jusque 188 m. et double au delà. Le travail fut arrêté à 318 m.

le 8 mai 1922 par suite d'une importante venue d'eau par un sondage recoupé à 300 m. et qui pénétrait dans le crétaqué. Après de vains essais de cimentation du sondage, on décida de noyer le puits. L'eau s'éleva jusqu'à 29 m. sous le niveau du sol.

La congélation fut d'abord intensifiée. Le 31 mai, un premier essai d'épuisement démontra la persistance de la venue. Afin de hâter la congélation, on déversa dans le puits 500 m<sup>3</sup> de sable de manière à constituer un bouchon facilement congelable dans le fond. Un second essai d'épuisement, le 22 juin, donna une venue constante. On décida ensuite de renforcer le mur par le fonçage de deux sondages supplémentaires l'un allant jusqu'au crétaqué (400 m.), l'autre sur toute la hauteur. Après épuisement, on put reprendre le fonçage le 14 octobre. Ce fonçage fut entrepris, précédé d'un sondage de reconnaissance.

Au début de décembre, une nouvelle venue d'eau amena à nouveau le remplissage du puits. Au préalable, on plaça à la base un bouchon de ciment. Un nouveau sondage fut poussé jusque 552 m. 50.

Vers la fin du mois de juin 1923, on reprit l'épuisement du puits, enleva le sable du fond et perça le bouchon de ciment par un sondage préalable. Celui-ci indiqua une venue d'eau de 150 litres à l'heure. On reprit le creusement jusque 339 m. en continuant à poser les anneaux en descendant. A ce niveau, une nouvelle venue d'eau amena un nouvel arrêt. Le nombre de sondages supplémentaires fut porté à trois.

Le 1<sup>er</sup> mars 1924, on put reprendre le travail de creusement à 339 m. Il fut poussé jusque 456 m. 50. On plaça ensuite le cuvelage intérieur en montant de 456 à 330 m.

Le terrain houiller fut atteint le 3 novembre à 556 m. 20. Le cuvelage fut établi jusqu'à 578 m. 28. En dessous, jusqu'à 745 m., le revêtement consista en un mur en maçonnerie analogue à celui du puits n° 1.

Afin d'accélérer la mise en exploitation, les chantiers furent ouverts dès 1925. Le puits fut poussé jusqu'à sa profondeur finale par creusement en montant sous stot. Un burquin reliait les étages de 780 à 745 m.

On remarquera que si la pose du cuvelage au fur et à mesure de l'avancement est déficiente au point de vue rendement, elle a eu des avantages d'abord en constituant un revêtement con-



tinu et surtout, lors des accidents, en ne laissant à découvert qu'un minimum de terrain. Ainsi on limitait le danger d'éboulement et point n'était nécessaire de combler partiellement le puits.

Soulignons ensuite l'importance qu'il y a à s'assurer de la solidité du mur de glace et aussi de l'intérêt qu'il y a en cas de venue d'eau par l'avaleresse et de revêtement continu étanche, à créer à la base du puits un bouchon étanche : ciment ou sable congelé.

### CUVELAGE

Le diamètre intérieur est de 5 m. 25. Chaque anneau, constitué de dix segments, à surface extérieure lisse, est muni de deux nervures horizontales pour renforcement. Les joints sont disposés en imbrication. Derrière le cuvelage, on a battu, sur une épaisseur de 0 m. 25, du béton contenant un quart de ciment. Pour augmenter la raideur du cuvelage, on a placé des trousses picotées tous les 30 m. environ. Ainsi, il y eut des trousses à 31 m. 70, 62 m., 92 m. 60, 122 m. 95, 153 m. 50, 191 m.

Ces trousses sont constituées comme dans les autres cuvelages employés, par des anneaux en fonte, de hauteur réduite et à large empattement.

Le cuvelage extérieur a été placé en descendant à mesure de l'avancement. La coulée du béton derrière les anneaux a été faite après la pose de trois à quatre de ceux-ci. Les trousses ont été montées de la manière suivante : l'anneau, placé sur le sol préalablement arasé en banquettes, était attaché par des boulons provisoires au dernier anneau placé en descendant ; en agissant sur ces boulons, on relevait alors progressivement la trousse. On procédait alors au picotement et à la mise en place des boulons définitifs.

Le cuvelage intérieur a été posé en remontant par passe d'importance variable. On procéda de la manière suivante : On établissait à la base de la passe un mur en moellons de 0 m. 25 environ d'épaisseur et 1 m. 66 de haut et l'on montait par dessus le cuvelage intérieur. Ce mur en maçonnerie était démoli lors de la mise en place du cuvelage de la passe suivante. On le remplaçait par des anneaux de raccord qui étaient picotés. Les anneaux du cuvelage intérieur et ceux du cuvelage extérieur, ont leurs

joints alternants. En face des trousses du cuvelage extérieur, on a fait entre les deux anneaux un picotage serré pour isoler les nappes aquifères. L'espace libre entre les deux cuvelages a été rempli par un béton riche contenant en moyenne un tiers de ciment, un tiers de sable, un tiers de gravier. Le cuvelage simple est placé jusque 188 m. Au delà jusqu'au houiller existe un cuvelage double. Pour la traversée du houiller, le revêtement consiste en un muraillement de 75 cm. d'épaisseur, l'espace entre ce mur et le terrain étant rempli de béton.

Le raccord du cuvelage simple au cuvelage double a été réalisé par un anneau de forme spéciale. Ceci est évidemment coûteux, mais assure la continuité extérieure et intérieure parfaite de tout le cuvelage.

Les mêmes précautions et le même soin ont été apportés dans le placement du cuvelage et le contrôle de son étanchéité que dans les autres puits.

### DECONGELATION

Le puits n° 1 ayant été cuvelé jusque 575 m. 55, c'est-à-dire au delà de la base de la zone congelée, en plein terrain houiller, il fut décidé de procéder à la décongélation du puits.

Afin de réaliser cette décongélation sans qu'il en résultât le moindre accident et sans dommage pour le cuvelage, la condition primordiale était de mettre celui-ci progressivement sous pression de haut en bas et simultanément sur toute la périphérie. Ainsi réaliserait-t-on une mise sous charge équilibrée et uniforme de chaque anneau et une mise en charge progressive de tout le puits.

Au puits n° 1, on décida de procéder de la manière suivante :

- 1° Supprimer toute circulation dans les tubes congélateurs ;
- 2° Provoquer et régulariser la décongélation en la rendant progressive et uniforme par l'injection d'air chaud à l'intérieur du puits et le long du cuvelage.

Pour cela, on utilisa un ventilateur débitant 1.600 l. par seconde. Ce ventilateur fut placé au jour. Dans les conduits d'aspiration et de refoulement de ce ventilateur, des serpentins parcourus par la vapeur portait la température de cet air à 55 ou 65°. L'air ainsi échauffé était soufflé dans un tuyau de



0 m. 70 de diamètre placé dans l'axe du puits. Le courant d'air débouchant du canar se répandait à ce niveau et s'élevait le long des parois en les réchauffant uniformément.

La décongélation fut rendue progressive en amenant par descente successive le courant d'air à déboucher de plus en plus bas.

Le canar débouchait initialement à 50 m. de profondeur. On fit descendre progressivement son embouchure de 10 m. tous les trois jours.

Le procédé fut reconnu insuffisant. On dut accélérer la décongélation en allumant des braseros à coke. Ce procédé n'eut guère de succès.

Le rematage des joints suivit progressivement la décongélation.

Finalement, on abandonna la tâche de guider la décongélation. On reprit le travail de creusement, en se bornant à suivre la marche de la décongélation par le débit des joints et en s'attachant au rematage immédiat de ceux qui se montraient défectueux. La critique de ce procédé a été exposée dans la première partie de cette étude.

Au puits n° 2, la décongélation fut entreprise partiellement pendant l'année 1925 pour les assises de base sous 375 m. Le dégel fut achevé dans cette région au courant de 1926.

Elle fut ensuite poursuivie dans les assises supérieures et complètement achevée en 1926. La décongélation se fit en supprimant simplement la circulation de saumure. Dès l'achèvement du cuvelage, il n'y avait plus d'ailleurs qu'une seule unité en service.

En ce qui concerne les autres détails du fonçage, il n'y a ici aucune particularité que nous n'ayons citée dans le corps du mémoire ou dans d'autres monographies.

## Concession de Winterslag à Genk

### *Siège de Winterslag*

D'après les sondages de reconnaissance effectués, la coupe des terrains à l'endroit choisi pour l'installation des puits d'extraction peut s'établir ainsi :

0- 20 m. . . . .	Sables ligniteux
20- 80 m. . . . .	Sables glauconieux
80-230 m. . . . .	Argiles grises
230-270 m. . . . .	Sables et argiles
270-337 m. . . . .	Tuffeau et craie grossière
337-393 m. . . . .	Craies compactes
393-480 m. . . . .	Marnes et argilites

Les principales nappes aquifères sont celle du tertiaire dans les sables glauconieux et celle du crétacé dans le tuffeau et les craies fissurées. Des venues d'eau se sont marquées également dans les intercalations sableuses de la base du tertiaire.

A la base des morts-terrains, les venues d'eau paraissent être excessivement faibles ou inexistantes, entre autres celle de base dans les sables herviens si bien connue dans les autres puits.

Vu ces conditions, il fut décidé d'abord d'opérer une congélation des terrains supérieurs à 428 m. Pour ce qui concerne les terrains inférieurs, on décida d'attendre les résultats d'une reconnaissance détaillée. Ceux-ci acquis, on eut la certitude de l'existence d'une seule nappe importante à 440 m. pour laquelle on décida d'opérer une cimentation des terrains préalable au creusement.

Dans les niveaux inférieurs, il n'y avait aucune trace de niveaux aquifères.

Le creusement se fit comme en terrains ordinaires.

### CONGELATION

La congélation fut réalisée au puits n° 1 par 51 sondages comportant 34 sondages primaires et 17 supplémentaires, nécessités par les déviations des primaires.

Au puits n° 2, on utilisa 43 sondages dont 9 supplémentaires.



Ces sondages furent forés par la Société Foraky. Ils furent munis de tubes congélateurs jusque 428 et 430 m. Aucun d'eux ne fut tubé.

Ces sondages furent établis dans les avant-puits creusés au diamètre de 14 m., réduit à 12 m. 50 après revêtement en maçonnerie et béton. La hauteur de ces avant-puits était de 6 m. 50 au puits n° 1 et de 8 m. au puits n° 2.

La centrale frigorifique comportait quatre groupes de compresseurs : deux pour le puits n° 1 et deux pour le puits n° 2.

La congélation commença le 27 novembre 1911 au puits n° 1 et le 11 septembre 1912 au puits n° 2. Les températures de circulation de saumure diminuèrent progressivement les premiers jours de manière à régulariser le plus possible la congélation des terrains.

Au puits n° 1, le 1<sup>er</sup> décembre 1911, la température était au départ de  $-10^{\circ}5$ , et au retour de  $-8^{\circ}2$ , et lorsque le régime fut établi :  $-14^{\circ}$  au départ et  $-13^{\circ}$  au retour, c'est-à-dire une perte de  $1^{\circ}$  après circulation nécessaire pour maintenir la congélation.

Sitôt la fermeture du mur de glace réalisée, la centrale frigorifique marcha à puissance réduite.

Au puits n° 2, les terrains se comportèrent moins bien. Le mur de glace se ferma moins fortement. Les écarts de température indiqués par la saumure furent plus importants et des fissures, des ruptures de tubes s'étant même produits sous les poussées des marnes au cours du creusement, on dut activer et intensifier la congélation. Tandis qu'une demi-unité frigorifique de 250.000 frigories/heure était réservée au maintien de la congélation au puits n° 1, 3 unités 1/2 donnant en tout 875.000 frigories-heures furent employées à la congélation du puits n° 2. La température de la saumure en circulation atteignit alors les valeurs de  $-20^{\circ}7$  au départ et  $-19^{\circ}3$  au retour.

Tandis qu'au puits n° 1, les températures restaient de  $-14^{\circ}$  et  $-13^{\circ}$ , au puits n° 2, elles continuèrent à se maintenir à  $20^{\circ}7$  et  $-19^{\circ}3$  au retour.

## CREUSEMENT

### Puits N° 1.

Le creusement commença le 11 mars 1912. Le travail de fonçage se fit par alternance de creusement et de pose du cuvelage en remontant. D'abord entrepris avec des équipes incomplètes en deux postes, il fut continué sitôt la fermeture totale du mur de glace par trois équipes de dix-sept hommes.

Des trousses furent posées à 80 m. 90, 139 m. 60, 190 m. 50, 238 m. 70, 270 m. 25, 337 m. 85 et 420 m. 25.

On remarque que les passes sont de hauteur moindre à la traversée des argiles qui donnaient de grandes poussées (139,60-270,25).

Le diamètre de creusement était progressivement élargi pour permettre le placement du cuvelage à épaisseur croissante.

Le creusement dans le tuffeau se fit sans aucun incident. A la traversée des craies à silex, l'avancement subit un ralentissement dû à la dureté des roches. Contre 1 m. 70 en moyenne dans le tertiaire et 1 m. 50 dans le tuffeau, on ne put réaliser dans la craie qu'un avancement de 1 m. par jour.

Ayant atteint la profondeur de 420 m., après vérification du cuvelage, on reprit le creusement le 12 septembre 1912. Deux sondages poussés en avant des travaux indiquèrent dès leur entrée dans les terrains non congelés une venue de 93 litres à l'heure. Les terrains inférieurs étant reconnus aquifères, on décida de procéder à une cimentation des terrains.

Une trousse fut donc picotée à 428 m., à la base des terrains congelés.

Après montage du cuvelage, on établit à sa base un bouchon de ciment de 7 m. d'épaisseur percé d'un tube central et de quatorze tubes guides divergents répartis sur une circonférence de 5 m. 50 de diamètre.

Le sondage central a permis de reconnaître les 60 m. de terrains inférieurs. Le bouchon de ciment donnant encore lieu à une venue d'eau, on injecta du ciment par le tube central sous une pression de 43 kg/cm<sup>2</sup>.

Les installations nécessaires au sondage de reconnaissance ont été les suivantes :



A 390 m., on établit un plancher de sûreté où s'opérait le chargement des cuffats pour la surface. A 391 m., on plaça des molettes. Deux planchers à 398 m. et 405 m. étaient nécessaires pour le maniement des tiges de sondages.

Le plancher établi à 412 m. servit de plancher de travail pour le sondeur. A 418 m., on établit des pompes pour renvoyer l'eau dans les cuffats à 390 m. Le sondage se fit par un appareil à rotation à couronne de 92 mm. de diamètre avec taillants en carborandum. L'entraînement se faisait par courroies actionnées par moteur électrique (220 volts).

Comme mesure de précaution contre les venues d'eau, le tube-guide avec vanne fut muni d'une boîte à bourrage laissant passer la tige du sondage. L'installation fut éprouvée à 100 kg/cm<sup>2</sup> de pression.

Le sondage fut entrepris le 28 janvier. Il donna comme résultat : une passe de roches aquifères débitant 3 m<sup>3</sup> jusque 440 m.; au delà, des argilites compactes. On cimentait alors les roches aquifères. Les quatorze trous périphériques furent battus au trépan jusqu'à 450 m. On y injecta 5 tonnes de ciment. Puis on creusa dans ces marnes jusque 444 m. Les venues d'eau étaient épuisées par cuffats.

A 443 m. 80, on établit trois trousses picotées séparées l'une de l'autre par un anneau de manière à constituer ainsi un bourrage bien étanche. Le cuvelage fut ensuite monté jusque 428 m. 60.

Après matage de cette dernière passe, la Société Foraky, concessionnaire abandonna le travail. Elle terminait sa régie. La direction de Winterslag acheva elle-même le travail.

On forait alors dans des tubes scellés au sol par des manchons de béton deux sondages de reconnaissance. Ces sondages furent effectués au trépan manœuvré à bras d'homme, la circulation d'eau se faisait par une pompe à air comprimé. Jusque 470 m., on ne rencontra que des argilites sans eau. On reprit alors le creusement jusqu'à 456 m. et ensuite on approfondit le sondage jusqu'au houiller.

Les marnes herviennes sous-jacentes n'étaient pas aquifères. Le creusement se continua alors normalement, le revêtement étant constitué par une maçonnerie. Le 28 juillet 1914, on atteignait la première veine de houille.

### Puits N° 2.

Les travaux de creusement commencèrent le 20 février 1913 sans qu'on eut d'indication sur la fermeture du mur de glace dans le crétacé.

Le 26 avril, on posait la première trousse à 80 m. 90; puis on en plaça d'autres à 141 m. 50 et à 226 m. Le 2 octobre 1913, on atteignait les marnes heersiennes à la base du tertiaire.

Ces marnes et les marnes de Gelinden, supérieures à celles-ci, sont des roches assez plastiques donnant lieu à de fortes poussées. Il se fit alors entendre de forts craquements dans le revêtement provisoire entre 226 et 260 m.

D'importantes fissures se montrèrent aux parois et au fond du puits donnant issues à d'importantes venues d'eau salée entraînant des sables. La température de ces eaux put être mesurée. Elle était de 6°.

On obstrua le fond en y déversant du ciment sur 1 m. 50 d'épaisseur, ce qui arrêta momentanément la venue d'eau. Mais après de nouveaux craquements, elle se fit jour à mi-hauteur de la passe non cuvelée.

On déversa du sable jusqu'à 226 m. et on laissa le puits se combler d'eau.

La congélation ayant été intensifiée, on jugea, par une surélévation du plan d'eau dans le puits, que le mur de glace avait dû se fermer.

Le 4 novembre 1913, on procéda à l'épuisement à la tonne. On enleva la glace qui s'était formée sur le cuvelage par fusion sous un jet de vapeur. Ce travail achevé, on put reprendre le creusement de la passe comblée en posant cette fois le cuvelage en descendant.

Un sondage de reconnaissance indiqua l'absence d'eau sous le bouchon de ciment. Après enlèvement de celui-ci, le creusement se poursuivit jusqu'au tuffeau à 270 m. 50, où l'on picota une trousse.

Les terrains congelés présentant une résistance suffisante par eux-mêmes, les passes suivantes dans le tuffeau et la craie à silix furent creusées sans revêtement provisoire. Des trousses furent posées à 233 m., 373 m. 25 et 396 m. 42, le cuvelage étant à nouveau posé en remontant.



Ayant ainsi atteint la base des craies à silex, on dut subir deux mois de retard. Le travail fut enfin repris avec pose du cuvelage en descendant. L'avancement fut lent du fait de la défense d'employer des explosifs.

Entre 195 et 237 m., on dut effectuer un travail de réparation du cuvelage qui avait particulièrement souffert du fait des poussées de terrains dans les argiles rupéliennes et les marnes de Gelinden. De même qu'au puits n° 1, on entreprit sous 418 m. une série de sondages de reconnaissance poussés jusqu'à 450 m. On reprit alors le creusement avec pose simultanée du cuvelage jusqu'à 428 m. 20; puis les marnes herviennes présentant suffisamment de résistance, on creusa avec revêtement provisoire jusque 445 m. 80.

On établit la base du cuvelage avec les mêmes soins qu'au puits n° 1. Le cuvelage était complètement achevé le 2 décembre 1915.

On procéda alors à la décongélation.

Celle-ci achevée, on vérifia et consolida le revêtement du puits. Le creusement fut ensuite repris le 11 septembre 1916.

Le creusement se fit sans difficultés par passes avec pose du revêtement en remontant. Les passes furent 445.80-493 m. 60; 493,60-565 m.; 565-635 m.; 635-700 m. Le creusement et la maçonnerie du puits furent terminés fin 1919.

Le travail fut assez lent du fait des retards qu'y apportèrent les arrêts sur ordre de l'autorité allemande; on poursuivit l'équipement partiel du puits, l'établissement de boueaux et de communications avec le puits n° 1 par lequel l'exploitation avait déjà commencé dès 1917.

#### Revêtement provisoire.

Le revêtement provisoire consistait en madriers jointifs maintenus contre la paroi par des anneaux métalliques formés de plusieurs segments boulonnés. Ces anneaux étaient constitués par des fers U, distants de 1 m. 50 et retenus l'un à l'autre par des agrafes de fer.

Les madriers étaient calés par des coins de bois chassés entre ces anneaux et les madriers.

Ce revêtement présentait le grand inconvénient de masquer complètement les parois du puits et de n'en pas permettre l'ins-

pection. Il en résultait un manque de sécurité car l'inspection des parois et la détermination des fissures s'y produisant après le creusement auraient permis de prévenir certains accidents.

Aussi, à la suite de cette expérience (puits n° 2, accident d'octobre 1913), certaines passes ont-elles été creusées sans revêtement. Cela exigeait évidemment des terrains très résistants et ne présentant pas de danger quant à des chutes de blocs intempestives.

Ce revêtement provisoire était de plus insuffisant en cas de violente poussées : sous l'action de celles-ci, il se brisait ou encore se calait, si bien qu'il était impossible de le démonter. Dans ce cas, il a été jugé préférable de ne creuser que de petites passes dont la faible hauteur découverte limitait immédiatement l'importance des poussées et de poser alors rapidement le cuvelage définitif qui, plus résistant et sans nécessité de démontage ultérieur, offrait une sécurité plus grande.

C'est pourquoi il est des passes où l'on a opéré la pose du cuvelage en descendant directement après le creusement.

#### Mode de creusement.

Dans la partie supérieure du puits, les terrains étant meubles et le noyau central n'étant pas gelé, on a pu procéder directement à la pelle.

Mais dans la zone congelée, on a été obligé d'employer l'explosif, les trous de mines étant battus à la barre de mine ordinaire.

Des essais d'abatage au marteau piqueur ont été tentés sans succès; aussi le procédé n'a-t-il pas été employé, surtout dans la passe congelée.

Après la déclaration de guerre, on ne put pendant quelque temps se servir d'explosif. L'effet sur l'avancement fut désastreux. Il se réduisit notablement.

#### Epuisement et enlèvement des débris.

L'enlèvement des produits abattus se faisait par cuffats. Ces cuffats déplacés par des treuils installés dans la tour de fonçage étaient facilement manœuvrés à la surface pour le renversement dans les wagonnets. A partie inférieure, ils étaient munis d'un anneau qu'un ouvrier pouvait saisir à l'aide d'un crochet fixé à un support solide. En laissant alors se dérouler un peu de câble, on renversait facilement le cuffat.



Il en était de même dans le fond.

Pour l'épuisement, on usa généralement du cuffat. Parfois, on a tenté l'épuisement par émulsion. L'appareillage comportait une colonne de 180 mm. de diamètre contenant un tube plus étroit par où se faisait l'injection d'air. Le liquide ainsi allégé remontait. Ce procédé ne donna guère de bons résultats et dut être abandonné.

Une venue d'eau assez importante, 7 m<sup>3</sup>/heure, s'étant fait jour à front d'avaleresse à 485 m., on dut installer un système d'exhaure spécial afin d'éviter l'inondation du puits.

Cette installation était volante et suivait l'avaleresse qu'elle maintenait ainsi sensiblement à sec. Au moyen de chaînes et de palans, une pompe Werthington à air comprimé était constamment suspendue à quelques mètres au dessus du fond. Elle refoulait l'eau vers un réservoir temporaire de 12 m<sup>3</sup> de capacité accroché au revêtement fixe à un niveau supérieur. Le réservoir était constamment vidé par une tonne.

En général donc :

L'épuisement pendant le creusement s'est fait par cuffat (un ou deux suivant l'importance). Ces cuffats avaient une capacité de 1 à 1 1/4 m<sup>3</sup>. Dans des cas spéciaux, on a employé une pompe mobile.

Le fond du puits était d'ailleurs presque constamment sec. Lorsqu'après décongélation, le cuvelage a pleuré, l'eau fut recueillie dans un réservoir établi à sa base de manière à ne pas inonder le fond. Ce réservoir était épuisé au cuffat ou à la tonne.

### DECONGELATION

La décongélation des puits fut réalisée de la manière suivante:

La centrale frigorifique ayant été arrêtée, on réchauffa progressivement la saumure qui continuait à circuler dans les tubes congélateurs en faisant circuler à la place du liquide froid, de l'eau chaude, puis de la vapeur dans les serpentins des bacs à saumure.

En même temps, une colonne descendue dans le puits rempli d'eau, permettait de libérer à la base de l'eau chaude qui remontait par sa force ascensionnelle en réchauffant l'eau du puits et

par elle en réalisant la décongélation uniforme autour du cuvelage.

L'eau qui remplissait le puits était maintenue constamment au même niveau par épuisement de l'eau en surcroît.

Antérieurement à ces opérations, on avait évidemment procédé à un matage, resserrement et vérification complète du cuvelage et provoqué le remplissage du puits par l'eau. Cette eau était maintenue à un niveau supérieur au niveau hydrostatique de manière à empêcher le puits de subir de trop violentes compressions localement par la libération soudaine des nappes aquifères, d'autres points du cuvelage n'étant pas alors mis dans des conditions de sollicitation analogues.

La congélation étant jugée pratiquement achevée d'après les écarts de température de départ et de retour de la saumure, on entreprit l'épuisement des eaux du puits en même temps qu'on procéda à un nouveau matage des joints, à une vérification du cuvelage et à son renforcement par injection de ciment.

L'épuisement se fit soit par cuffat soit par émulsion d'air comprimé injecté par un tube.

### CUVELAGE ET REVETEMENT

Le cuvelage est posé jusque 445 m. 80 et en dessous le puits est murailé. Les anneaux de cuvelage sont constitués par onze segments. Chaque segment porte deux nervures horizontales et une nervure verticale dirigées vers l'intérieur. La surface extérieure est maintenue parfaitement cylindrique. Ces anneaux ont 6 m. de diamètre et 1 m. 50 de haut. Les épaisseurs des anneaux varient suivant les passes et vont en croissant à mesure que l'on descend. Il en est de même pour le revêtement extérieur en béton. L'épaisseur du cuvelage à la partie supérieure est de 35 mm.

Aussi le diamètre de creusement a-t-il été en croissant : 6 m. 80 pour la première passe, 6 m. 90 pour la seconde, 7 m. pour la troisième, 7 m. 05 pour la quatrième, 7 m. 10 pour la cinquième, etc.

Le cuvelage est simple sur toute la hauteur.

A la base de chaque passe, on a placé une trousse. Ces trusses sont picotées à la base et à la tête de chaque nappe aquifère. Ces



trousses sont constituées par des anneaux de 0 m. 50 de haut présentant une nervure horizontale. Ces trousses sont plus épaisses et plus larges que les anneaux ordinaires de cuvelage.

Le raccord d'une passe à la précédente a été fait par des anneaux de 1 m. de haut analogues aux anneaux de cuvelage de la passe inférieure. Entre cet anneau et la trousse a été placé un anneau en bois picoté à refus.

Les pièces de cuvelage ont été soumises aux vérifications ci-après :

Lors de la coulée aux usines, on a fait subir à des éprouvettes de fonte, identique à celui des pièces, les essais suivants :

1° *Résistance au choc* : Sur une éprouvette de 40 × 40 mm. de section reposant sur deux appuis distants de 160 mm., on faisait tomber de 400 mm. de haut un mouton de 12 kg.

Il ne devait y avoir ni rupture ni déformation.

2° *Résistance à la traction* : Sur une éprouvette cylindrique de 20 mm. de diamètre et de 200 mm. de long, on exerçait une traction de 14 kg. par mm<sup>2</sup> au minimum.

Il ne devait y avoir aucune déformation permanente.

3° *Résistance à la flexion* : Sur éprouvette de 30 × 30 mm. de section reposant sur deux appuis distants de 1 m., on faisait peser une charge de 450 kg. minimum.

La flèche devait être de 12 mm.

*A l'analyse* : la fonte devait se révéler ne contenant pas plus de 1,25 % de phosphore et moins de 1,10 % de soufre.

De plus, les pièces coulées étaient auscultées au marteau afin de déceler les soufflures. La densité des coups de marteau (celui-ci étant spécialement adapté à cet usage) devait être au moins de 8 par dm<sup>2</sup>.

Les pièces acceptées après ces essais étaient parachevées au tour, assemblées en anneau, cet anneau devant être à son tour assemblé à celui qui devait le suivre et celui qui devait le précéder dans le cuvelage afin de vérifier la concordance des boulons. Aucune tolérance n'était laissée quant à l'ovalisation des pièces.

Lors de la mise en place des anneaux, les précautions suivantes furent prises :

le centrage s'établissait sur trois fils à plomb réglés de la surface.

un système de verins était employé pour éviter toute ovalisation des anneaux lors du placement.

la tendance à la rotation des anneaux était combattue par le placement des différents segments en sens alternant d'un anneau à l'autre.

Les conditions de mise en place suivantes furent exigées :

les écarts tolérés devaient être au maximum de 10 mm. pour les dimensions radiales et de 1 mm. en ce qui concerne le nivellement.

Ces conditions étaient vérifiées un anneau sur deux.

Les divers anneaux de cuvelage étaient donc placés en montant à partir de la trousse ou en descendant.

Les trousses étaient posées directement sur le terrain dont au creusement on avait laissé en saillie une banquette; derrière la trousse, sur une épaisseur de 5 à 6 cm., on bétonnait soigneusement sur toute la hauteur de la trousse; mais si elle devait être picotée, on ne bétonnait que sur la moitié de la hauteur et au-dessous du béton, on plaçait, sur 25 cm. de haut, des blocs jointifs de bois tendre où l'on chassait à refus des picots de chêne dur.

Sur cette trousse, on élevait ensuite anneau par anneau les diverses parties du cuvelage. Chaque anneau était relié au précédent par boulons. Entre les anneaux et dans tous les joints, on plaçait des feuilles de plomb qui s'écrasaient sous le poids et se moulaient dans les rainures étroites que l'on avait aménagées dans les anneaux.

Derrière les anneaux, on damait du béton sur 0 m. 25 à 0 m. 50 d'épaisseur. Ce béton qui contenait 306 kg. de ciment au mètre cube avait été gâché avec de la saumure indiquant 15° Beaumé. On évitait ainsi que le béton ne fêlât avant prise. Ce travail se faisait après la pose de deux ou trois anneaux. Le raccord d'une passe avec la suivante se faisait par un anneau de 1 m. de haut derrière lequel on bétonnait après la pose de chaque segment.

Après la fermeture de l'anneau, on injectait derrière le dernier segment du ciment pur. La liaison étanche avec la trousse supé-



rieure était établie par un picotage de coins de chêne dans une couronne de bois tendre.

Dans le cas de cuvelage posé en descendant, les anneaux étaient suspendus à la trousse de base de la passe précédente. Après achèvement de la passe, on opérait un resserrement général des boulons et on réalisait la liaison étanche avec la passe précédente.

Pendant la mise en place des anneaux, ainsi que pour le matage des joints de plomb qui se faisait toujours, immédiatement après l'achèvement de la passe, en remontant, les ouvriers prenaient place sur un plancher volant manœuvré par un treuil en surface.

Au cours du travail, des pièces ont été brisées du fait des poussées exercées par les terrains. Dans ce cas, ces pièces ont été immédiatement remplacées ou temporairement réparées. Ce dernier cas se produisait spécialement quand les segments présentaient des fissures. Celles-ci étaient alors élargies à 5 mm. environ sur 30 à 35 mm. d'épaisseur et l'on y chassait des feuilles de cuivre soigneusement matées de manière à donner toute étanchéité. Ce matage de cuivre dans les fissures était suffisant pour constituer une réparation définitive.

Il n'en a pas été de même quand sous la poussée des terrains, les anneaux se sont déplacés et brisés. Dans ce cas, le remplacement s'imposait. De tels accidents se sont produits principalement à la traversée des terrains sujets à fluer, c'est-à-dire particulièrement plastiques, tels particulièrement à Winterslag, les assises marno-argileuses de Gelinden. Dans l'appréhension de pareils remplacements toujours difficiles dans le cas d'un cuvelage complet, on a laissé à la base de la zone délicate un espace vide de 0 m. 50 qui a facilité le démontage. Cet espace a été ensuite fermé par un anneau spécial.

De nombreux matages des joints en plomb ont été nécessaires au cours du fonçage et spécialement avant et après chaque opération de remplissage du puits par eau en cas d'accident et surtout avant et après la décongélation.

A la base du cuvelage, on a établi un système particulièrement étanche afin d'isoler les nappes supérieures de la partie inférieure du puits.

Ce système comporte trois trusses superposées, chacune ayant été picotée à refus contre la roche. Elles sont séparées l'une de l'autre par un anneau de cuvelage soigneusement bétonné extérieurement.

Après décongélation, afin de rendre plus étanche et plus résistant le cuvelage, on a procédé à une injection de ciment derrière le cuvelage. Afin de pouvoir réaliser cette opération, chaque segment du cuvelage avait été pourvu de six ouvertures cylindriques de 50 mm. de diamètre soigneusement obturées par des boulons filetés. Lors de l'opération, on substitua à ces boulons l'orifice fileté d'un tube flexible relié d'autre part au bac à ciment. Cette opération effectuée sur toute la hauteur du tertiaire (0-280 m.) a absorbé 30,5 tonnes au puits n° 1 et 120 tonnes au puits n° 2.

Cette opération avait pour but de colmater les fissures qui avaient pu se produire dans le revêtement en béton et de pénétrer surtout dans les roches avoisinantes. Le travail n'a pas été effectué sous ce niveau vu les mauvaises conditions d'absorption des roches.

On avait également songé à procéder à une injection de ciment par les sondages périphériques utilisés pour la congélation, ce qui eut ainsi théoriquement accru l'épaisseur du revêtement cimenté. A cet effet, les tubes congélateurs avaient été perforés aux différents niveaux. Les résultats furent négatifs. Le lavage préalable des roches à cimenter amena l'entraînement de plus de sables que la roche n'admet de ciment lors de l'injection. Cette opération fut abandonnée et les tubes furent simplement cimentés.

Le revêtement de la partie inférieure du puits fut réalisé par un muraillement en maçonnerie sur 0 m. 75 d'épaisseur.



## Concession André Dumont

*Siège de Waterschei*

La coupe des morts terrains rencontrés à Waterschei peut se résumer dans le tableau suivant :

<i>Quaternaire</i>	Gravier et argile . . . . .	0	—	17	m.
<i>Tertiaire</i>	Sables . . . . .	17	—	87	m.
	Sables argileux . . . . .	87	—	134	m.
	Alternances de sables et argiles. . . . .	134	—	147	m.
	Argiles. . . . .	147	—	181	m.
	Sables argileux . . . . .	181	—	206	m.
	Argile . . . . .	206	—	241	m.
	Marnes argileuses . . . . .	241	—	265	m.
<i>Secondaire</i>	Sables argileux . . . . .	265	—	278	m.
	Argile rouge . . . . .	278	—	285	m.
	Tuffeau . . . . .	285	—	363,40	m.
	Craie à silex . . . . .	363,40	—	410	m.
<i>Herviens</i>	Marnes . . . . .	410	—	450	m.
	Marnes, argiles et sables . . . . .	450	—	505	m.
	<i>Houiller</i> . . . . .	sous 505 M.			

Sur cette série de termes, se trouvent plusieurs niveaux aquifères à savoir : un premier niveau dans les sables supérieurs du Tertiaire (17 — 87 m.), un second niveau vers 120 m. dans des sables tertiaires également. Le troisième niveau important par suite de la nature des roches qui le contiennent et de son débit, correspond au crétacé (285 — 410). Les terrains de base du Hervien apparaissent fort peu aquifères. Des études ultérieures exécutées au cours du fonçage firent conclure à la présence à la base du Hervien d'une couche de 5 m. de sables Herviens ébouleux donnant une importante venue d'eau.

Le siège est équipé avec deux puits parallèles. Le puits n° 1 servant principalement à l'extraction atteint la profondeur de 728 m 75. Le puits n° 2 — de retour d'air — et par lequel on fait également l'extraction, est profond de 658 m. Le diamètre intérieur des puits est de 6 m. Des étages sont installés à 658 m. et à 700 m. Le niveau de retour d'air est à 608 m.

## Procédé de fonçage.

Le projet du travail de creusement fut le suivant :

*Congélation* des morts-terrains jusqu'à la profondeur de 360 m., c'est-à-dire jusqu'au niveau de la craie compacte : Les nappes aquifères du tertiaire et celles du tuffeau étaient ainsi rendues inoffensives et n'offraient plus d'obstacles à leur traversée.

Une *cimentation* préalable serait effectuée sur toute la hauteur du crétacé et une partie du Hervien c'est-à-dire de 300 à 510 m. Cette cimentation a été jugée préférable à une congélation parce que l'on releva, lors des sondages de reconnaissance, l'existence de cassures qui, partant de la base des craies aquifères pénétraient profondément dans les marnes. Ces cassures étant assez importantes, la congélation eut dû être prolongée de beaucoup en dessous de 430 m. et était loin dans ces conditions de présenter de suffisantes garanties. La cimentation par ses qualités propres s'appliquait beaucoup mieux. La cimentation serait exécutée jusqu'à la partie supérieure du tuffeau, mais l'incertitude sur laquelle on devait se tenir quant à la réussite de cette opération, faisait prolonger la congélation jusqu'à la base de cette assise.

Quant à la nappe inférieure du Hervien, le peu de documents ne permettait pas encore, au début du fonçage de préciser les moyens à employer pour la traverser. Des mesures précises de débit de pression hydrostatique étaient nécessaires et l'on ne pouvait les réunir que plus tard. Lorsqu'elles furent obtenues les conditions ne permirent pas de traverser ces sables aquifères par creusement direct avec épuisement. La venue était de 240 mm<sup>3</sup>/heure par une ouverture de 320 mm. sur 150 mm. dans un tube de 234 mm. de diamètre à 477 m. Le niveau d'eau dans une colonne centrale plongeant dans la nappe s'arrêtait à 30 m. sous le niveau du sol, soit une hauteur de 480 m. On devait donc employer une reprise de congélation. les sables constituant le niveau aquifère étant bouillants. Dans le houiller sous 520 m., le creusement pouvait reprendre sans aucun procédé spécial.

Le revêtement serait donc constitué d'un cuvelage à la traversée des morts-terrains et de maçonnerie dans le houiller.



### Travaux préliminaires.

On édifia d'abord sur chaque puits une tour de sondage en bois destinée à fermer l'orifice du puits et renfermant tous les organes et appareils : treuils, ventilateurs, etc., employés pour le fonçage. Cette tour avait une base carrée de 22 m. de côté.

Au puits même, on creusa un avant-puits de 12 m. 50 de diamètre et de 5 m. de profondeur. C'est dans cet avant-puits, dans la couronne entourant le puits encreusement que furent disposées les têtes des sondages congélateurs et cimenteurs. C'est là aussi que furent installés les raccords et les collecteurs généraux du liquide réfrigérant.

Comme la nappe supérieure possédait un niveau hydrostatique voisin de la surface, cet avant-puits fut murillé et muni d'un fond en béton dans lequel s'engageaient des manchons et tubes-guides des sondages.

Initialement, chaque puits devait comporter 35 sondages : 1 étant central et servant d'appareil de contrôle, les 34 autres répartis périphériquement sur une circonférence de 10 m. de diamètre, devant servir à la congélation. Leur profondeur devait atteindre 380 m.

### CIMENTATION

Les dix sondages ayant été poussés jusque 510 m. et tubés de manière à isoler les nappes supérieures à 300 m. furent soigneusement lavés par injection à l'eau claire sous pression.

On opéra alors une série d'essais afin de déterminer le procédé à meilleur rendement.

Un premier essai de cimentation simultanée sur toute la hauteur de 300 à 510 m. donna de mauvais résultats quant à la marche générale et à l'uniformité de l'action cimentante.

Un second essai sur quatre sondages fut aussi désastreux.

Les terrains étaient laissés à nu entre 300 et 510 m., les tubes de cimentation débouchaient à 500 m. les tubes se calèrent dans le tuffeau.

A la suite de ces mécomptes, on dut abandonner tout espoir de cimenter utilement et sans accident le tuffeau. Le tubage étanche fut descendu à 360 m. et le tuffeau fut isolé par des frettes étanches.

La cimentation sur toute la hauteur ne donnant pas satisfaction quant à ses résultats pratiques et à son fonctionnement, on décida d'en revenir au procédé de cimentation par passes.

Les sondages furent en conséquence remplis de sable jusqu'à 360 m. Le forage fut ensuite repris par passes qui étaient successivement cimentées.

Il y eut ainsi 4 passes : 360 — 380 (dans les craies aquifères) 380 — 410, 410 — 450, 450 — 510.

La hauteur des passes variait en sens inverse de l'intensité du débit des nappes, donc des fissures qui y existaient.

L'injection se faisait au puits n° 1 sous une pression de 15 à 32 kg/cm<sup>2</sup>. On injecta ainsi 175 tonnes de ciment sous forme d'un lait de 10 ou 20 % de ciment.

Les sondages de reconnaissance forés pour contrôler l'effet de la cimentation sur les roches et les venues aquifères donnèrent des résultats excellents.

Au puits n° 2, la cimentation se fit également par passes successives par quatre sondages. Les passes étaient ici les mêmes que celles exécutées au puits n° 1. En plus, il y eut une première passe à la base du tuffeau entre 340 et 360 m. non point pour cimenter le tuffeau, mais parce que lors du forage du sondage on avait reconnu l'existence d'une cassure très aquifère à 353 m. La congélation pouvant être défectueuse en ce point, on employa la cimentation préalable.

Le travail terminé, les sondages furent cimentés jusque 380 m. On y plaça, ainsi que dans les autres sondages de congélation, les tubes de circulation du liquide congélateur, puis on procéda au détubage.

### CONGELATION

#### *Installations frigorifiques :*

La congélation commença au puits n° 1 le 4 mars 1912. La centrale était équipée avec trois compresseurs à ammoniacque d'une puissance unitaire de 250.000 frig.-heure à — 20°.

Lorsque la congélation du puits n° 2 fut entreprise, l'installation fut portée à 4 unités frigorifiques. L'une servit à maintenir la congélation complètement achevée au puits n° 1, les 3 autres servirent uniquement à congeler le puits n° 2. Au puits n° 1, la congélation se fit par 44 sondages (34 primaires et



10 supplémentaires). Au puits n° 2, on dut forer en plus des 34 sondages initiaux, 15 supplémentaires.

Les mesures de déviation des sondages furent exécutées en double par des appareils différents. L'appareil d'Erlinghagen et celui de Gebhardt.

Les résultats ainsi obtenus étaient totalement discordants non seulement au point de vue des amplitudes, mais surtout au point de vue des déviations angulaires. Ainsi alors que l'appareil d'Erlinghagen indiquait des déviations de 0 m. 48, 6 m. 23 ou 4 m. 13, l'appareil de Gebhardt indiquait 16 m., 3 m. 90 ou 0 m. 76.

Les erreurs de déviation étaient plus notables et d'une importance telle que parfois l'erreur en plan devenait supérieur à l'amplitude même de la déviation. Les contrôles faits lors du fonçage sur le sondage central et sur quelques sondages recoupés furent nettement défavorables à l'appareil d'Erlinghagen. Non seulement il manquait de précision, mais il était complètement aberrant. L'appareil de Gebhardt donnait plus de précision.

#### Sondage central.

Le sondage central fut creusé seulement à la profondeur de 340 m. Une série de tubages concentriques arrêtés respectivement à 40 m., 120 m. et 300 m. permettaient d'observer la fermeture des différentes nappes par les seules variations du niveau de l'eau dans les tubes et espaces annulaires correspondants aux différents niveaux. Au puits n° 1, après débordement du tube correspondant au niveau de 40 m.; on enregistre le 17 mai 1913, la fermeture du mur de glace à 120 m. et le 5 juin, dans le crétacé.

Au puits n° 2, le mur fut complètement fermé dans le tertiaire le 15 juillet 1913. Le sondage ne donna rien qui indiquât le moment de fermeture du mur de glace dans le crétacé.

Aussi, fin novembre, décida-t-on de boucher le sondage central.

### CREUSEMENT

#### Puits N° 1.

Le creusement fut entrepris le 5 juin 1912. Une équipe de 5 ouvriers fut d'abord employée, puis après le 11 juin le travail s'effectua par trois équipes, d'abord de 12, puis de 19 ouvriers.

Le creusement se fit par passes successives, le cuvelage étant placé en remontant. Des trousses furent installées à 147 m. 05, 211 m. 24, 242 m. 46, 283 m. 32.

Au delà, on comptait creuser avec pose du cuvelage en descendant; on pénétrait, en effet, dans le crétacé supérieur constitué par le tuffeau.

Pour cette première période, l'avancement mensuel fut de 40 M. en moyenne.

Le creusement se fit à la vitesse moyenne de 2 m. 70 par jour. La pose du cuvelage fut en moyenne de 4 m. 50 par jour. 40 jours furent occupés à poser les trousses de raccord, visiter le puits et mater les joints de plomb, enlever les tubes de sondages et poser les planchers.

Une trousse ayant été picotée à la base du tertiaire, on entreprit le creusement en une seule passe au travers du tuffeau; on comptait poser le cuvelage en descendant: le cuvelage aurait constitué ainsi un excellent revêtement protégeant les ouvriers en cas de mauvaise tenue des terrains. Mais, bien au contraire, la congélation avait très bien cimenté le tuffeau et l'avait rendu résistant, ce qui permit de traverser tout ce tuffeau sans placer aucun anneau de cuvelage et de réaliser un avancement moyen de 1 m. 50 par jour. Une trousse fut enfin picotée à la base du tuffeau et le cuvelage posé en remontant.

La dernière passe en terrain congelé restait à creuser. Elle fut entreprise le 28 avril 1913. Une dernière trousse fut picotée à 380 m.

Avant d'aborder la traversée des terrains cimentés, on entreprit une révision totale du puits, après avoir toutefois procédé à la pose des anneaux de raccord des différentes passes. On effectua ensuite le matage des joints sur toute la hauteur. Puis on forait au fond un sondage de reconnaissance de 10 m. environ de profondeur destiné à reconnaître l'état des terrains cimentés et voir spécialement l'état des venues d'eau.

Entretemps, on achevait l'installation des appareils d'épuisement. Au procédé à la tonne qui encombrait le puits et se présentait avec un faible rendement en eau épuisée, on substitua l'emploi de pompes, les unes fixes les autres mobiles et suivant le fonçage. Cette installation était double, à la fois par mesure de sécurité pour maintenir l'épuisement permanent et



en même temps pour suppléer à une venue d'eau trop forte.

Les 4 pompes avaient un débit unitaire de 240 m<sup>3</sup>/heure. Deux d'entre elles furent installées à poste fixe à 240 M. fixées à des poutrelles transversales, leur puisard plongeant dans une cuve bétonnée installée quelques mètres en dessous et permettant la circulation dans le puits, des hommes et des cuffats.

L'eau était refoulée par cette pompe à la surface et déversée à l'extérieur. Les deux autres pompes mobiles glissant sur des câbles étaient capables de suivre l'avaleresse jusqu'à 540 m. Elles se connectaient à des tubes coulissants qui déversaient l'eau refoulée dans le réservoir de 270 m. De nombreux treuils étaient installés dans la tour de fonçage pour permettre la manœuvre de cette installation : treuils des câbles de suspension, des câbles de manœuvre et des câbles électriques pour l'alimentation des moteurs de ces pompes. L'installation de ces pompes fut achevée le 30 juin 1913.

Les trois sondages de reconnaissance ayant donné des résultats favorables (la venue d'eau se réduisait à 900 l/heure); le creusement fut repris sous 380 m. La congélation était maintenue derrière le cuvelage pendant ce travail. Les venues d'eau étant faibles, l'épuisement continua à se faire à la tonne. Les craies et marnes avaient été imparfaitement cimentées car elles présentaient encore de nombreuses fissures de 4 à 5 mm. de large à peine enduites de ciment. Malgré cela, l'effet était excellent.

Le 8 août 1913, une trousse fut établie à 401 m. 30, puis une autre à 453 m. 50; le cuvelage étant placé en montant.

Au fur et à mesure de l'approfondissement, la venue d'eau croissait; à 410 m., elle atteignait 3 m<sup>3</sup>/heure; à 450 m., 5 m<sup>3</sup> et le creusement ayant atteint 464 m., elles furent de 6 m<sup>3</sup>.

Le travail fut arrêté à 464 m. pour permettre l'étude du Hervien, où il restait une nappe aquifère à traverser.

#### Etude du hervien.

Pour se documenter sur l'état des terrains sous 464 m., on décida d'entreprendre dans le puits deux sondages qui furent poussés jusqu'au houiller.

Pour réaliser ce travail, on dut procéder à l'installation de divers appareils et paliers.

L'installation d'épuisement fut changée. Une pompe Worthington à air comprimé fut placée à 459 m., pompe qui refoulait l'eau à 435 m. où on installa une cuve-réservoir qui vidaient des cuffats.

A 452 m., on établit un plancher prenant appui directement sur le cuvelage. Ce plancher supportait les appareils de forage des sondages. Ceux-ci furent creusés par le procédé à rotation par couronne de 92 mm. de diamètre avec taillants en carborundum, de manière à obtenir ainsi des documents d'examen.

De crainte de venues d'eau importantes refluant de la nappe sous-jacente, on dut prendre quelques précautions. Le tube-guide de 150 mm. de diamètre enfoncé à 14 m. sous le fond dans les argilites imperméables fut muni d'une vanne.

Il se prolongeait un peu au-dessus de 452 m. Un bourrage hermétique permettait le passage de la tige de sonde. Les essais faits en Usines indiquaient une résistance à la pression de 60 atmosphères. Après installation, cette résistance fut contrôlée à 50 atmosphères. On ne put dépasser ce chiffre, l'eau absorbée alors par les terrains réduisant automatiquement les pressions.

Ces sondages commencèrent le 9 janvier.

Jusqu'à 493 m., les résultats donnés indiquaient une passe d'argilites sans eau.

Vers 500 m., la rotation devint difficile. Pour une injection de 4 m<sup>3</sup> d'eau, il y eut un retour de 8 m<sup>3</sup>. Ces eaux étaient chargées de sables. La venue allait croissant. On dut arrêter à 500 m. 40 La présence du sable fluant empêcha de fermer la vanne et de retirer le tube carottier.

On décida d'effectuer des mesures de débit. Le robinet d'évacuation de 3 cm<sup>2</sup> de section permettait le jaugeage. Le débit se fit avec violence. Le manomètre indiqua une pression de 42 Kg/cm<sup>2</sup>.

De vant ces résultats, on décida de forer un nouveau sondage de diamètre plus grand et mieux approprié pour la mesure du débit et des pressions.

#### Décongélation et cimentation

Pendant ce forage, on procéda à l'achèvement de la partie du puits creusée et à la décongélation. Après injection de ciment



derrière le cuvelage entre 452 m. et 380, on refit un matage des joints et un serrage des boulons en remontant.

La venue d'eau se réduisit à 2 m<sup>3</sup>/heure. Ayant noyé le puits, on procéda à la décongélation qu'on s'efforça de régulariser.

La guerre se déclara pendant que cette opération était en cours.

Le 1<sup>er</sup> septembre 1914, on put entreprendre l'épuisement, la décongélation étant achevée.

A mesure que l'épuisement progressait, on procédait à un matage supplémentaire des joints et on injectait à nouveau du ciment derrière le cuvelage par les orifices laissés à cet effet dans les anneaux. Outre cette opération, on décida, afin de renforcer le revêtement, de procéder à une cimentation postérieure derrière le cuvelage.

Par un outil spécial, on procéda au percement des tubes congélateurs. De 7 en 7 m., on établit ainsi quatre orifices circulaires disposés suivant deux diamètres perpendiculaires et ayant 1 à 2 cm<sup>2</sup> de section.

Les congélateurs furent alors réunis par un tube flexible à un réservoir où se faisait un mélange d'eau et de ciment. La pression motrice était due à la surélévation de ce réservoir (55 m. au-dessus de la tête du tertiaire). L'opération se fit en deux fois pour chaque congélateur. Les passes étaient les suivantes : 380 — 290 m. et 290 — 150 m. La richesse en sables des niveaux supérieurs rendait la cimentation impraticable. Le tonnage ainsi absorbé fut de 344 tonnes qui constituèrent autour du cuvelage en profondeur une épaisse fourrure de béton. La venue d'eau à 464 m. était à la fin de cette opération de 1 m<sup>3</sup> 600 à l'heure.

#### Nouvelle étude du hervien

On procéda enfin au forage du sondage à grand diamètre destiné à déterminer avec précision la venue horaire de la nappe du hervien.

Le diamètre était cette fois de 234 mm. L'ouverture d'écoulement avait une section de 320 mm/150 mm.

Lors des essais, les venues mesurées donnèrent une valeur moyenne de 240 m<sup>3</sup>/heure à 447 m. Lors de la fermeture de

l'orifice d'écoulement, l'eau s'éleva rapidement dans la colonne d'équilibre à 350 m. puis lentement et atteignit 30 m. en deux mois.

Le sondage avait été réalisé par battage au trépan. Le diamètre de la colonne de battage était de 234 mm. Le trépan avait 182 mm. de large. Il put traverser complètement les sables et pénétrer dans le houiller.

On procéda encore en décembre 1915 à de nouvelles mesures de jaugeage. Un tube de 152 mm. de diamètre fut introduit dans le sondage et rempli de fin gravier et de balleilles de plomb de 12 à 20 mm. de diamètre qui devaient constituer un filtre.

A la suite de toutes ces déterminations, il apparut nettement qu'il n'y avait plus qu'à entreprendre une reprise de congélation pour la traversée du hervien de base.

Avant d'entreprendre ce travail, on a d'abord injecté du ciment sous pression entre 505 m. et 474 m. dans le sondage qu'on a ensuite bouché au ciment. On a opéré de même pour les sondages de début. Mais pour ceux-ci l'opération fut plus compliquée car il fallait reprendre les tubes abandonnés. On a donc installé sur le sondage un tube de captage raccordé à une colonne d'équilibre s'élevant jusqu'à la surface. On a enlevé le bouchon du sondage, élargi son orifice, retiré les tubes, lavé, puis coulé un lait de ciment très dense.

#### Reprise de congélation.

On commença par creuser une chambre de congélation. Celle-ci fut réalisée en élargissant le fond du puits en forme de cône entre 453 et 464 m. Sur le fond ainsi dégagé, on creusa une rainure de 2 m. de profondeur entourant le futur puits et on yimenta les tubes-guides des sondages de congélation.

La chambre fut munie d'un revêtement de maçonnerie en blocs de béton de 500 mm. × 200 mm. × 125 mm.

En octobre 1916, les travaux durent être abandonnés par ordre de l'occupant. Le puits fut noyé. Ils ne purent être repris, après épuisement que fin décembre 1918.

Au début d'août 1919, tous les sondages de congélation étaient munis de leurs tubes congélateurs constitués par deux tubes concentriques de 94 et 128 mm. de diamètre.



On procéda ensuite au démontage des colonnes de battage, à la mise en place des couronnes collectrices et des conduites d'amenée de la saumure. Celles-ci furent munies de boîtes de dilatation tous les 100 m. et soigneusement calorifugées afin d'éviter tout réchauffement dans le puits.

Le 27 octobre 1919, la congélation commençait. Un sondage central foré à 504 m. 50 permettait de se rendre compte de la fermeture du mur de glace. Le mur se ferma le 17 novembre.

La congélation fut réalisée par deux unités frigorifiques donnant 500.000 frig. à  $-20^{\circ}$ . Les températures moyennes de la saumure étaient au départ  $-25^{\circ}$  et au retour  $-23^{\circ}7$ .

On attendit jusqu'au 7 mars avant d'entreprendre le creusement. Il était important, en effet, que le mur de glace fut suffisamment résistant pour tenir lors du fonçage sous les pressions qu'il avait à subir.

Le creusement se fit avec pose du cuvelage en descendant. A partir de 493 m. 09, pour la traversée du hervien aquifère, on employa un cuvelage double. Le cuvelage intérieur à un diamètre de 6 M. et l'extérieur de 7 m. 40. Le cuvelage fut prolongé jusque dans le houiller à 544 m. 06. Le cuvelage extérieur s'arrêta à 509 m. 20.

La pose se fit en descendant pour le cuvelage extérieur. Le diamètre de creusement était alors porté à 8 m. 10. Le cuvelage intérieur fut posé en remontant après achèvement du creusement jusque 509 m. 20.

Sous ce niveau, le creusement fut repris avec pose d'un seul cuvelage en descendant.

La circulation de saumure fut supprimée le 3 décembre 1921. Toute l'installation fut démontée et le cuvelage monté à 455 m.; ensuite, on posa les anneaux de raccord entre 455 et 450 m.

#### Continuation du fonçage.

Le creusement se continua ensuite jusque 544 m. 06 avec pose du cuvelage en descendant. On cimentait le cuvelage par injection.

Sous 544 m. 06, le creusement se poursuivait avec pose directe du revêtement constitué par un béton monolithe de 80 cm. d'épaisseur édifié derrière un coffrage amovible métallique. L'avancement fut de 6 m. par jour, pose du coffrage comprise

en travaillant avec des équipes de 20 hommes. Le diamètre de creusement était de 7 m. 80 pour une section utile de 6 m. 20 de diamètre.

Le travail continua jusqu'à la profondeur finale de 728 m. 75 avec établissement d'envoyages à 608 m., 658 m. et 700 m.

Entretiens, on procéda à diverses vérifications du cuvelage (matage des joints et resserrement des boulons).

#### Puits N° 2.

Le creusement fut amorcé le 31 juillet 1913. Le noyau non congelé étant de 9 m. de diamètre, le travail dut être abandonné après 27 m. de fonçage, les terrains manquant de résistance.

Le diamètre du noyau non congelé s'étant réduit à 6 m. 10, le travail fut repris le 21 octobre.

La première trousse fut posée à 147 m. 90 dans les argiles rupéliennes, la seconde, dans les argiles tongriennes, à 208 m. 33. Sur cette hauteur, on opéra la pose du cuvelage en montant.

Sous 208 m., des poussées importantes dans les marnes et argiles landeniennes, heersiennes et montiennes étant à craindre, afin de ne pas courir des dangers de rupture de boisage, etc., on décida d'employer un procédé différent pour le creusement des assises inférieures du tertiaire. On ne creusa sans revêtement qu'une passe de quelques mètres pour que les poussées ne se fissent pas sentir, puis on monta une trousse et on posa 4 à 5 anneaux en montant. Comme il restait un jeu avec le tronçon supérieur, on fit emploi de longs boulons de raccord qui par serrage opérèrent le rapprochement des anneaux en soulevant le nouveau tronçon placé. On plaça alors les boulons définitifs d'abord aux trous vides puis en les substituant aux boulons de montage et on injecta du ciment derrière le cuvelage.

Le 29 juillet 1914, on picotait une trousse à la tête du tuffeau. Après un arrêt consécutif aux événements de 1914, le travail ne put être repris qu'en février 1915. L'usage des explosifs étant interdit, l'avancement fut réduit. Vers juillet 1915, on atteignit la base de la partie congelée. On pénétra alors dans la partie cimentée. Les venues d'eau augmentèrent de  $6\text{m}^3/\text{heure}$  à 390 m., à  $12\text{m}^3/\text{heure}$  à 420 m. La congélation était maintenue par une unité frigorifique seulement.

Après pose du cuvelage jusque 420 m. et injection de ciment derrière le cuvelage de la zone cimentée (ce qui réduisit les



venues à 1 m<sup>3</sup>300/heure), on opéra un matage général en remontant et on noya le puits pour procéder à la décongélation comme au puits n° 1.

Le 13 avril 1916, on put épuiser, procéder au matage des joints et injecter à nouveau du ciment derrière le cuvelage sur toute la hauteur. Comme au puits n° 1, on injecta également du ciment par les sondages de congélation.

Le 25 novembre 1916, le travail fut complètement arrêté et le puits noyé. Il ne put être repris qu'au début de 1919. Après épuisement des eaux, on entreprit le creusement jusque 443 m. au diamètre de 7 m. 20 puis jusque 466 m. en évasant progressivement de manière à y établir une chambre pour la reprise de congélation.

Le travail de reprise de congélation a été mené de la même manière qu'au puits n° 1.

L'aménagement : fonçage des sondages, établissement des collecteurs, essais de l'installation à 80 atmosphères, etc., fut terminé le 2 novembre 1921.

La mise en circuit de la congélation débuta alors avec une seule unité frigorifique auquel s'adjoignit une seconde le 3 décembre. Le 5 décembre, le mur de place était fermé. Les températures étaient au départ de la saumure : — 23° et au retour — 21°. Le débit atteignait près de 200 m<sup>3</sup> à l'heure. La température du terrain était avant la congélation de 18°. Après 21 jours de congélation, elle était de 4° à 470 m., de 12° à 495 m. Le 31 décembre 1921, la température était à ces niveaux en moyenne de — 2°.

Les mesures étaient faites par un thermomètre enregistreur enfermé dans un tube cylindrique de 90 mm. de diamètre et descendu dans le sondage central, et quatre sondages dit d'écrasement forés à l'intérieur du puits à creuser. Le creusement fut entrepris le 4 avril 1922. A 478 m. 50, on picota une trousse sur laquelle on éleva le cuvelage de la passe : 466 — 478 m. 50. On continua avec pose du cuvelage en descendant : cuvelage simple de 6 m. de diamètre jusqu'à 493 m. 50, cuvelage extérieur de 7 m. 40 de diamètre jusqu'à 509 m. 10.

Le cuvelage extérieur fut posé jusque 509 m. 10. A 512 m., on picota une trousse du cuvelage intérieur sur lequel celui-ci fut élevé.

On continua à creuser en posant le cuvelage en descendant jusque 544 m. 60, base du cuvelage.

Ayant arrêté la congélation, on démontra la chambre de reprise et on acheva la fermeture du cuvelage en le complétant, matant les joints et procédant à des injections de ciment.

Le creusement fut ensuite poursuivi dans le houiller au diamètre de 7 m. 80, le revêtement étant constitué par un muraillement en béton de 80 cm. d'épaisseur.

### CUVELAGE ET REVETEMENT

Le cuvelage est un cuvelage simple sur toute la hauteur des morts-terrains, renforcé par un cuvelage extérieur sur la hauteur (493,50 — 509,50) c'est-à-dire à la traversée des terrains herviens aquifères.

Le cuvelage simple est constitué d'anneaux de 1 m. 50 de haut à surface extérieure ondulée et présentant vers l'intérieur deux nervures horizontales. Ces pièces sont en fonte et ont subi les mêmes essais que les pièces de cuvelage employées à Winterslag.

L'épaisseur de ces anneaux varie suivant la hauteur de 30 à 100 mm.

Les trusses étaient constituées par des anneaux plus profonds de 0 m. 50 de haut, munis extérieurement d'anneaux que l'on fixait à des barres perdues dans le béton pilonné derrière le cuvelage.

Le raccord des différentes passes était réalisé par le placement à la partie supérieure d'une passe, sous la trousse de la passe précédente, d'un anneau spécial de 1 m. de haut environ, nervuré également. A la partie supérieure, cet anneau présentait extérieurement une saillie contre laquelle venait buter le picotage frontal établissant liaison étanche avec la trousse précédente.

Les joints du cuvelage étaient munis de feuilles de plomb qui au matage assuraient une étanchéité parfaite.

Le cuvelage double est constitué par deux anneaux concentriques de 7 m. 40 et 6 m. de diamètre dont les segments sont placés à joints contrariants. Le raccord des deux cuvelages s'est fait de la manière suivante à la partie supérieure :

Après avoir creusé une certaine hauteur au diamètre de 8 m. 20, on installa une trousse de 7 m. 40 de diamètre, soigneu-



sement picotée. Au-dessus de cette trousse, on plaça un anneau de couvage de 1 m. 50 de haut soigneusement cimenté à l'extrados. On plaça ensuite devant, deux anneaux de 6 m. de diamètre et 1 m. de haut suspendus au dernier anneau du couvage simple. Dans l'intervalle, on établit soigneusement un remplissage au ciment. La composition de ce ciment comportait la moitié de ciment et la moitié de sable. Tout l'intervalle entre les deux couvages fut ainsi cimenté lors de la pose du couvage intérieur.

Après décongélation, on procéda à un nouveau matage des joints du couvage et à une injection de ciment derrière les anneaux par des orifices ad hoc ménagés dans les pièces.

Sous 544 m., le revêtement fut constitué par un muraillement en béton. Celui-ci fut pilonné par passes successives, sur 0 m. 80 d'épaisseur en moyenne, derrière un coffrage métallique amovible.

On établit d'abord une série de cercles en fer U distants de 66 cm. et formés par six segments. Sur ces cercles, on fixa par broches 24 tôles cintrées raidies par des cornières. Ces tôles formant coffrage avaient 5 mm. d'épaisseur. Elles pesaient 39 Kgs. et leur maniement était facilité par des poignées. Après vingt-quatre heures, ce coffrage put être démonté et réemployé. Le travail fut effectué par équipes de 20 hommes.

### DECONGELATION

La décongélation des passes congelées en surface fut effectuée avant la reprise de congélation en profondeur. La saumure fut progressivement réchauffée par des passages successifs sur des serpentins où l'on avait établi des circulations de vapeur.

De plus, un tube de 112 mm. de diamètre avait été descendu jusque 380 m. A ce niveau, il se bifurquait en six branches disposées horizontalement et dont les orifices s'ouvraient près de la paroi. On envoya ainsi à la base du couvage 25 m<sup>3</sup> d'eau à l'heure. La température de cette eau atteignait 25°. Elle provenait des condenseurs des turbines de la centrale.

La décongélation de la passe (490 — 510) se fit naturellement. On arrêta la marche des frigorifères, retira les tubes congélateurs remplis les trous de sonde de ciment et injecta le ciment derrière le couvage. On ne procéda à aucune opération spéciale pour diriger la décongélation.

## Concession Ste-Barbe et Guillaume Lambert

*Siège d'Eysden-Sainte-Barbe*

Les sondages de reconnaissance, confirmés par les déterminations faites au cours du fonçage, donnent une coupe générale des morts-terrains qui peut se résumer ainsi :

<i>Quaternaire</i>	Graviers et sables . . . . .	0	—	16	m.
	en bancs alternants.				
<i>Tertiaire</i>	Sables et argiles rupéliennes	16	—	145	m.
	Argile plastique tongrienne	145	—	155	m.
	Sables tongriens . . . . .	155	—	167	m.
	Marnes landeniennes et hersiennes. . . . .	167	—	197,50	m.
	Sables . . . . .	197,50	—	222	m.
	Argiles. . . . .	222	—	232	m.
<i>Secondaire</i>	Tuffeau et craie . . . . .	232	—	323	m.
	Craie . . . . .	323	—	355	m.
	Marnes . . . . .	355	—	473	m.
	Sables et lignites . . . . .	473	—	477	m.
	<i>Houiller</i> . . . . .	sous 477 m.			

Les lits sableux du tertiaire étaient aquifères. La nappe du tuffeau existait à Eysden avec un développement analogue à celui qu'elle présentait dans les autres concessions. Enfin, il y avait directement sur le houiller et imprégnant les têtes de bancs fortement désagrégés du paléozoïque, une nappe appartenant au niveau du Hervien. Si la hauteur des morts-terrains était moindre qu'aux autres sièges campinois, la disposition des nappes était la même.

Le projet adopté fut le suivant :

Opérer la congélation en une seule passe sur toute la hauteur des 477 m. de morts-terrains.

Ce procédé a donné d'excellents résultats. On a pu dire, à juste titre, et c'est tout à la gloire du procédé employé, que les puits d'Eysden n'ont pas eu d'histoire.

Pour donner plus de garanties encore pendant le creusement et après, on a, avant la congélation, procédé à la cimentation des terrains crétacés par quatre sondages extra-périphériques



disposés sur deux diamètres perpendiculaires. Ces quatre sondages étaient pris parmi les sondages de congélation.

De l'examen des échantillons retirés des sondages, il ressortit bientôt que la tête des bancs du houiller était fortement fissurée et fracturée.

Il était impossible de réaliser une cimentation efficace de ces terrains; aussi décida-t-on de prolonger les tubes congélateurs jusque 505 m. et de cuveler jusque 515 m.

La masse congelée pénétrait ainsi fortement dans le substratum imperméable de terrain houiller.

### Sondages de congélation et cimentation.

Les sondages furent forés par la Compagnie Foraky.

Au puits n° 1, on en foragea 50. Les déviations furent mesurées au téléclinographe Denis qui donna d'excellents résultats. Certains sondages durent être rectifiés par obturation partielle et nouveau forage. On dut également forer des sondages supplémentaires.

Les mesures de déviation se firent : les unes, le sondage terminé; les autres, en cours d'avancement. Dans ce dernier cas, dès que la déviation s'avérait trop importante, on remplissait partiellement le sondage de ciment et on en rectifiait le forage. Ce dernier procédé fut principalement employé lors du forage des sondages supplémentaires qui exigeaient une bonne verticalité.

Les sondages qui furent d'abord forés furent ceux devant servir à la cimentation.

### CIMENTATION.

La cimentation a été effectuée par quatre sondages seulement et uniquement sur la hauteur des terrains crétacés. Le tertiaire et les termes de base des morts-terrains n'ont pas été cimentés vu la nature argilo-sableuse de leur composition, les terrains sableux ne prenant pas en effet de cimentation. Il en a été de même pour les terrains de la tête du houiller, dont les roches sont cohérentes, mais trop fissurées et trop altérées, pour supporter cette opération avec succès.

Quant aux terrains rencontrés dans le crétacé, ils donnèrent à la cimentation les résultats suivants :

Les marnes rencontrées de 460 à 340 m., étaient peu ou point aquifères sur presque toute leur hauteur. Seuls les dix mètres de base donnaient lieu à d'assez fortes venues. Les terrains absorbèrent 60 Tonnes de ciment et d'après l'état des roches recoupées lors du creusement, cette cimentation apparaît comme ayant été efficace.

La craie recoupée de 340 à 295 m. présenta du fait de sa nature et de sa fissuration, un terrain excellent pour la cimentation. Les joints et fissures furent parfaitement obturés ramenant ainsi les venues d'eau à néant.

Quant au tuffeau, il ressortait d'essais précédemment effectués que c'était un terrain difficilement cimentable, sa porosité et sa nature spéciale en faisant un véritable filtre. Lors de cette cimentation, les résultats furent cependant assez intéressants. Du fait de l'injection, les venues d'eau ont diminué assez fortement. Il apparaît que cette diminution a résulté de l'obturation par cimentation des fissures traversant le tuffeau. La quantité de ciment injecté fut faible. La cimentation a été pratiquée à mesure du creusement. On opérait par passe de 5 m. (parfois 10 et 15 m.). La pression d'injection devait être plus forte dans le cas actuel que dans les cas des cimentations précédentes où le nombre de sondages était plus grand. De même, le lait de ciment était moins dense. Ceci afin de réaliser des circonférences de cimentation plus étendues.

### CONGELATION

Les sondages de congélation : (50 au puits n° 1, 49 au n° 2) furent munis de tubes congélateurs de 130 mm. de diamètre.

La centrale frigorifique comportait trois unités de 300.000 frigories chacune. Le liquide congélateur était une solution de chlorure calcique à 27° Beaumé. Ces trois unités furent utilisées à la congélation du puits n° 1. Après la déclaration de guerre, la congélation put être maintenue avec une unité et parfois deux. La température de circulation de la saumure restait inférieure à -16°.

Quand on atteignit la passe de hervien aquifère, on commença par intensifier la congélation de manière à accroître le mur de glace. On utilisa un groupe et demi et les températures de circu-



lation de la saumure furent de  $-22^{\circ}$  à  $-21^{\circ}$ . La congélation fut arrêtée le 17 septembre 1918.

Au puits n° 2, la congélation ne fut commencée qu'en décembre 1918 avec l'installation frigorifique rendue disponible du puits n° 1. Toute l'installation des sondages était achevée dès août 1914.

En 1924, après une révision complète du puits, matage des joints, serrage des boulons, etc., on opéra la décongélation.

Celle-ci, comme au puits n° 1, s'effectua en réalisant simplement une circulation de saumure progressivement réchauffée.

Les progrès de la congélation furent suivis en surface par des mesures thermométriques effectuées dans 12 sondages de 2 m. de profondeur forés au fond de l'avant-puits.

Mais les meilleures indications furent recueillies par le sondage central constitué de trois tubes concentriques dont la base débouchait dans différentes nappes.

L'ordre de succession de fermeture des nappes a été le suivant: tertiaire, hercynienne et, enfin, crétacé.

Le sondage central était maintenu au début du fonçage par des carcans fixés au cuvelage. Afin d'empêcher la congélation des eaux du sondage, on a fait circuler dans l'espace annulaire compris entre deux tubes concentriques au sondage une solution de chlorure réchauffée.

Après avoir obtenu tous les résultats, on démonta le sondage.

## CREUSEMENT

### Puits N° 1.

Le creusement fut commencé le 5 mars 1914.

Le diamètre de creusement était de 7 m. 50 et le diamètre intérieur du cuvelage de 6 m. 10.

Des troupes furent successivement posées à 56 m. 20, le 1<sup>er</sup> avril, à 102 m. 75, le 14 juin et à 143 m. 50 en août. Le cuvelage était placé en montant.

Le travail fut interrompu en septembre 1914. Il fut repris en septembre 1915, et une troupe fut posée à 165 m. 76.

Les terrains étaient constitués par des argiles de Gelinden donnant lieu à d'importantes poussées et par conséquent il était dangereux de creuser de grandes passes sans revêtement. Un revêtement provisoire aurait couru les risques de s'écraser ou de

se caler; d'autre part, la pose du cuvelage en descendant était un travail excessivement lent. Aussi a-t-on préféré creuser par petites passes, le cuvelage étant posé en montant et rattaché immédiatement à l'anneau inférieur de la passe précédente. Ces passes avaient une hauteur de 4 m. 50.

Ce procédé a été employé jusqu'au tuffeau, à 237 m. 50. Les passes suivantes ont été creusées et cuvelées en remontant : 237,50 — 267,63; 267,63 — 309,70; 309,70 — 354,75; 354,75 — 386,25.

Les terrains sous-jacents étant assez déliteux, on employa un revêtement provisoire qui ne résista pas aux poussées des terrains et contraignit l'exploitant à combler la partie déjà creusée et de creuser à nouveau avec pose du cuvelage en descendant. On a ainsi atteint 476 m. 74, c'est-à-dire pénétré dans le houiller, les poussées des terrains se manifestant jusqu'à la base. Le creusement fut poursuivi jusque 519 m. 37 où l'on installa la troupe de base du cuvelage. L'idéal étant d'asseoir cette troupe en terrains parfaitement résistants et étanches, on n'en choisit l'emplacement qu'après étude détaillée des assises traversées lors du creusement. Aussi le diamètre initial du creusement fut-il à partir de 509 m. élargi de 6 m. 80, à 7 m. 80 jusque 519 m. Après les travaux de décongélation : matage, inondation du puits, décongélation, matage, injection de ciment et épuisement, on poursuivit le creusement dans le houiller dès le 14 août 1919.

Le creusement dans le houiller fut poussé jusque 700 m. Le soutènement consistait en un revêtement en maçonnerie.

Le puits fut achevé en 1920.

### Puits N° 2.

Le creusement fut entrepris le 4 mars 1919. A la suite de retards dans la fourniture du cuvelage, on ne put cuveler qu'une première passe de 40 m. La seconde troupe fut ensuite posée à 140 m. Le creusement fut ensuite poursuivi d'une manière analogue à celle réalisée au puits n° 1.

La troupe de base fut placée à 520 m. 90.

En dessous de ce niveau, on établit un revêtement en béton.



### CUVELAGE ET REVETEMENT

Le cuvelage est analogue à ceux employés dans les autres puits : Cuvelage constitué par des anneaux en plusieurs segments nervurés intérieurement.

Le diamètre intérieur était de 6 m. 10, la hauteur 1 m. 50, la profondeur 0 m. 30 et l'épaisseur variable.

Le cuvelage fut établi en montant sur une trousse picotée en bon terrain ou posée sur une banquette ménagée en terrain congelé. Au cas où les poussées atteignaient des valeurs exagérées, on posait le cuvelage en descendant, anneau par anneau. L'anneau était alors monté à l'avaleresse puis fixé au dernier anneau placé par de longs boulons de manœuvre qui par leur serrage progressif provoquaient la montée de l'anneau. Quand celui-ci était en place, on substituait aux boulons de manœuvre des boulons définitifs.

Les joints étaient munis de feuilles de plomb qui s'écrasaient entre les pièces et étaient matées de façon à rendre ces joints étanches.

Le diamètre de creusement ayant été porté à 7 m. 80, l'espace laissé derrière les anneaux a permis lors du montage des anneaux de procéder à un matage extérieur des joints, ce qui évidemment était très utile.

L'espace laissé libre derrière les anneaux a été bétonné. Cette opération était effectuée après la pose de chaque anneau. Après pose de l'anneau de raccord, on injectait du ciment derrière la pièce de clef et dans les joints horizontaux. A la décongélation, on précédait également à une injection de ciment derrière le cuvelage.

Localement, en présence de poussées fortes, mais non exagérées, de terrains et afin de faciliter le travail, on a opéré le creusement par passes de 4 m. 50 avec pose du cuvelage en remontant sur cette passe.

Le cuvelage comportant alors : un anneau de 1 mètre de haut et deux anneaux de 1 m. 50. Les nervures étaient distantes de 0 m. 50. Ce cuvelage était complété par un anneau dit de renforcement haut de 50 cm. et profond de 40 cm.

Le bétonnage se faisait comme dans le cas de grandes passes.

Lors de la pose du cuvelage, anneau par anneau, en descen-

dant (cas de poussées exagérées), on injecta derrière le cuvelage après pose de deux anneaux, du ciment (1/2 ciment, 1/2 sable).

Le muraillement fut effectué sur 75 cm. d'épaisseur. Il est fait partie en briques, partie en claveaux de béton.

Pour l'établissement des accrochages, le puits fut murailonné en ménageant un certain évasement de manière à faciliter l'installation des appareils de manœuvre et l'amorce des galeries.

Cet élargissement portait le diamètre intérieur du puits à 6 m. 20 à 7 m.

Les galeries avaient alors de 5 à 6 m. de large et 4 m. de haut.

Les raccords étaient soigneusement bétonnés et le muraillement établi en claveaux de béton armé, frettés et reliés l'un à l'autre par une armature métallique noyée dans le béton damé derrière les claveaux.

Le creusement des galeries étant poursuivi pendant l'approfondissement même du puits, on établissait à leur niveau des planchers de travail et de protection pour les ouvriers occupés à l'avaleresse.

Afin d'accélérer la mise en exploitation, les travaux aux chantiers furent entrepris avant même que les puits eussent atteint leur profondeur définitive. Le travail fut poursuivi sous un stot artificiel protégeant les ouvriers. Ce stot était constitué par un épais matelas de fascines reposant sur des rails disposés transversalement.

### DECONGELATION

La décongélation fut réalisée après que l'on eut établi sur une certaine hauteur en dessous de la base du cuvelage, le revêtement de maçonnerie. Le décongélation se fit par circulation progressive de saumure réchauffée. Préalablement, on avait procédé à une vérification complète du puits, matage des joints de cuvelage, resserrage des boulons que l'on avait munis de rondelles en plomb. Après décongélation, on réalisa une injection de ciment derrière le cuvelage afin de rendre complètement étanche le béton situé derrière celui-ci et on procéda à un nouveau matage des joints afin de réduire les venues d'eau qui pouvaient encore se produire.



### MATERIEL DE FONÇAGE

Afin d'accélérer le travail de fonçage, la Compagnie Foraky avait équipé ces puits d'un ample matériel de fonçage qui en fit réellement une installation modèle, aussi la décrivons-nous avec quelques détails.

La manœuvre du matériel dans le puits (remonte des déblais, descentes de pièces, etc.) était exécutée par des treuils à vapeur. Les dimensions des cylindres étaient 0,700 × 1,400. Douze cents m. de câbles métalliques pouvaient s'enrouler sur les tambours cylindriques.

La vitesse réalisée dans le puits était de 8 m. par seconde en moyenne.

Les treuils étaient capables de remonter à cette vitesse des cuffats à déblais d'une capacité de 1 m<sup>3</sup> 250, de réaliser l'exhaure avec des bennes à vidange automatique de 3 m<sup>3</sup> à l'heure.

Chaque treuil était équipé avec deux cuffats.

Afin d'éviter tout mouvement désordonné dans le puits, les cuffats étaient guidés chacun par deux câbles-guides emmagasinés sur des treuils à bras, ce qui permettait d'assurer leur allongement progressif et leur tension continue. Pour l'exécution du travail de pose du cuvelage, d'injection de ciment, maçonnage, pose de guidonnage, etc., les ouvriers se tenaient sur un plancher mobile. Ce plancher pouvait se caler contre les parois par un système de verrous. Il était manœuvré par un treuil à vapeur à forte démultiplication. Le câble de suspension avait un diamètre de 55 mm. Il avait été essayé à 160 tonnes sans rupture.

Pendant la période de fonçage, un plancher de protection était suspendu à ce treuil et protégeait les ouvriers de l'avaleresse contre toute chute de pierre, de débris ou autre. Pendant la pose du cuvelage, le travail était suspendu à l'avaleresse. Ceci pour plus de sécurité en cas de rupture du câble de suspension ou de chute de pièces de cuvelage.

Les manœuvres étaient accompagnées de tous les signaux normaux et réglementaires. Le puits était fermé par des trappes. La recette était aménagée de manière à réduire les chances de chutes d'objet dans le puits soit lors des manœuvres en sur-

face, à la vidange des cuffats ou à l'accrochage des pièces. Nous avons étudié ces détails dans la première partie de cette étude.

De plus, un système de lampes placées devant le machiniste et reliées aux trappes de fermeture permettait toujours à celui-ci de connaître leur position exacte.

Afin d'assurer une remonte rapide du personnel en cas d'accident, on disposait au fond du puits entre l'avaleresse et le plancher de protection une échelle munie d'une grille de sécurité circulaire. Tout le personnel du puits pouvait prendre place sur cette échelle. Elle était suspendue à un câble qui s'enroulait sur un tambour pouvant à volonté être embrayé avec une machine à vapeur ou un moteur à essence.

### Aérage et éclairage.

Le travail étant facilité par un bon aérage et un bon éclairage, ces deux points avaient été spécialement étudiés.

L'aérage était assuré par un ventilateur de 35 HP de puissance installé en surface. L'air frais était soufflé au fond par des canars de 50 cm. de diamètre.

L'éclairage était électrique. L'ampoule était placée dans un cylindre de cristal ventilé par de petites ouvertures cylindriques, celles-ci munies d'un fin treillis métallique.

### Matériel de creusement.

Dans les terrains meubles, le travail de creusement fut fait avec les outils habituels. En terrains gelés et durs, on utilisa les marteaux piqueurs, les marteaux perforateurs et les explosifs.

L'air comprimé était fourni aux marteaux par des compresseurs en surface. Cet air était préalablement desséché par circulation dans un jeu d'orgue refroidi par circulation de saumure froide. On devait disposer de plusieurs jeux afin de réaliser un assèchement continu tout en permettant le nettoyage des jeux encombrés par la glace. Le dégel était réalisé par circulation d'eau chaude.

L'emploi des explosifs a été accompagné de toutes les précautions afin d'éviter des ratés difficiles à constater. Les amorces étaient vérifiées une à une et classées par résistance. On effectuait le tir électriquement par un tableau spécial après mesure de la résistance totale du circuit.



**Revêtement provisoire.**

Le revêtement provisoire utilisé dans le cas où les terrains présentaient des risques d'éboulement était constitué comme suit :

Une série d'anneaux faits de plusieurs segments de fers U de  $220 \times 80 \times 9$  maintenait contre les parois un garnissage de planches jointives. Ces anneaux étaient assemblés par raccords boulonnés constitués par des fers U de  $187 \times 70$  et de 500 mm. de long. Ils étaient suspendus les uns aux autres par 12 crochets en S de 1 200 mm. de haut.

Dans le cas d'évasement, on utilisa d'abord des crochets en S donnant un évasement de 300 mm. sur 1.200 mm. Ce dispositif s'étant montré défectueux, on eut recours à un autre : Des manchons placés aux anneaux furent boulonnés à des pattes de suspension de 1.000 mm.

**NOTES DIVERSES**

**Note sur l'installation  
d'appareils encageurs Christian  
au siège Marie-José  
des Charbonnages de Maurage**

par J. MARTELEE  
Ingénieur au Corps des Mines.  
Assistant à l'Université de Liège.

On a installé au début de cette année, à l'accrochage de 475 mètres du puits n° 5 du siège Marie-José, deux encageurs du type Christian, constitués par de simples ponts basculants, devant lesquels sont placés des freins à air comprimé assurant l'arrêt des rames de wagonnets.

Après avoir décrit schématiquement ces appareils et examiné les raisons qui en ont motivé le choix, nous donnerons les résultats des chronométrages auxquels nous avons procédé.

Les cages du puits n° 5 sont du type à deux paliers de quatre chariots; elles desservent l'étage de 475 mètres qui centralise toute l'extraction du siège.

Un trainage par câble sans fin amène les wagonnets pleins sur quatre voies (présentant trois degrés de pente) et évacue les vides par un **bouveau de contour**.

**A. — Pont basculant.**

L'encageur comporte, comme l'indiquent les figures I et II, un pont à double voie 1, construit pour recevoir deux groupes de deux wagonnets et pouvant basculer autour du pivot 3. Il comprend, en outre, quatre freins fixes 2 constitués par des cornières; celles-ci assurent l'arrêt des wagonnets, lorsque le pont se trouve dans la position de la figure I, par le serrage des roues antérieures. Les faces inférieures de ces freins sont garnies de lames spéciales faciles à remplacer. Le pivot 3