

MÉMOIRE

Etude **sur** **les Fonçages de Puits** **en Campine**

PAR

C. GUION

Ingénieur civil des Mines.

Assistant de Géologie à l'Université de Liège.

(Première suite)

CHAPITRE VIII.

Fonçage avec cimentation préalable.

Lors d'accidents survenus à d'anciens cuvelages (fissures, venues d'eau, etc.), on a pu réaliser un système de réparation aisé, très efficace, relativement peu coûteux et n'exigeant pas l'enlèvement et le remplacement du cuvelage défectueux. Ce système a été breveté sous le nom de système Portier.

Il consiste à créer derrière le cuvelage, dans le terrain lui-même, un massif de béton constitué par les éléments de la roche réunis par du ciment injecté à l'état de lait de ciment. Ce lait de ciment pénètre dans les joints, fissures et autres cassures des terrains et les pénètre. Le ciment s'y dépose et y fait prise. Il se constitue ainsi derrière le cuvelage un nouveau revêtement résistant et étanche.

L'injection du ciment se fait sous pression par des orifices forés dans le cuvelage. Le lait de ciment se prépare en surface et est amené à l'orifice par un conduit flexible. La pression est parfois simplement due à la hauteur de la colonne de lait de ciment.

La réussite de ce procédé, dès 1899, a amené les entrepreneurs de fonçage à envisager son utilisation pour le creusement des puits.

La technique du procédé est la suivante :

On fore sur la périphérie du puits à creuser une série de sondages disposés circulairement. Ces sondages sont soit creusés directement, soit par passes successives alternant alors avec la cimentation. Ces trous de sondes sont

laissés à nu sur la hauteur de la passe à cimenter ou, si un tubage est nécessaire, celui-ci est perforé aux niveaux voulus. On descend alors dans les sondages des tubes d'injection débouchant un peu au-dessus de la base du trou et on injecte le ciment. Ce ciment pénètre les joints et fissures et colmate ceux-ci. Il imprègne la roche et la rend compacte et étanche.

Dès 1905, après l'emploi en quelques sièges de charbonnages de ce procédé, on avait pu déduire *les constatations suivantes* :

1°) Le ciment pénétrait et faisait prise excellente dans les fissures et crevasses un peu importantes et disposées verticalement.

2°) Les joints horizontaux, les fissures étroites n'étaient pas cimentées et donnaient lieu à des venues d'eau. La cimentation était défectueuse.

Ceci s'expliqua aisément : les boues de forage se déposaient et provoquaient des obstructions. Lors de l'injection du ciment, elles constituaient un obstacle à la cimentation ou faisaient office de filtre retenant le ciment sur une épaisseur minime.

3°) De nouveaux essais réalisés avec circulation d'eau sous pression avant cimentation donnèrent d'excellents résultats. La circulation d'eau lavait les fissures et en expulsait la boue. Cette circulation pouvait se faire de deux façons : soit par injection d'eau sous pression, soit par aspiration de l'eau des nappes.

Ce dernier procédé présente l'avantage d'extraire les boues du trou et non de les refouler vers la périphérie du sondage.

4°) Quant à la pression d'injection du ciment, on avait remarqué qu'elle était insuffisante pour expulser ces boues et qu'elle était nécessaire pour développer la zone d'action des tubes cimenteurs.

5°) En ce qui concerne cette zone d'action, on avait pu constater qu'elle diminuait avec la profondeur.

6°) Les essais réalisés jusqu'à cette date n'avaient été exécutés qu'en terrains cohérents et durs. On recherchait le moyen d'utiliser la cimentation dans les morts-terrains meubles.

En 1910, on avait pu compléter ces premiers résultats. Les essais opérés avaient indiqué suffisamment l'inefficacité du procédé en terrains sableux.

Il en était de même pour des terrains argileux où les fissures et autres ouvertures se colmataient par des bouchons imperméables peu résistants.

La nécessité des hautes pressions pour étendre la zone d'influence des sondages était également apparue, de même que celle de faire varier la teneur du lait de ciment. Enfin, on avait pu déjà réaliser des comparaisons quant à la question de l'utilité des petites passes ou des grandes passes.

Les travaux entrepris en Campine allaient donner des résultats intéressants confirmant ou complétant ceux déjà réunis.

Aptitude des terrains à la cimentation.

Au cours d'un accident survenu par rupture du soutènement en maçonnerie de béton au puits n° 1 de Beeringen, on versa au fond du puits 50 tonnes de ciment pour créer un bouchon étanche. Dans d'autres puits, au cours d'accidents dus à des venues d'eau, on réalisa la même opération. Chaque fois le ciment fut retrouvé sans consistance.

Pour réparer ce même accident, on fit une injection derrière le cuvelage; le ciment revint par les joints à l'intérieur du puits et lors de la vidange de celui-ci, on

trouva le ciment épandu en fine poussière sur toutes les saillies. Il n'avait pas fait prise.

Diverses tentatives ont été faites en vue de cimenter le crétacé à sa partie supérieure dans des craies dures et le tuffeau. Les tubes d'injection se calèrent au niveau du tuffeau dans des bouchons de ciment. Un certain tonnage de ciment pénétra cependant dans les terrains, mais moindre que dans la craie. Lors des sondages de contrôle forés à travers la masse supposée cimentée, on ne constata aucune diminution de la venue d'eau. Cependant, lors du creusement, on remarqua que des fissures traversant le tuffeau étaient bien colmatées au ciment.

D'ailleurs, lors d'essais expérimentaux réalisés par M. Sauvestre à Beeringen, relativement à la cimentation d'un trou de sonde dans le tuffeau, on avait obtenu les résultats suivants :

On injectait un lait de ciment par un ajutage dans une carotte de tuffeau évidée au centre. L'eau du lait de ciment traversait aisément la carotte très poreuse. Le ciment ainsi filtré par le tuffeau se concentrait dans la partie évidée, y faisait prise et finalement diminuait la porosité du tuffeau. La densité du ciment obturant le vide de la carotte était de 1,5 environ. Au cours d'autres essais, on fut amené à constater que du ciment injecté sous pression au travers d'un gravier passait d'abord intégralement, puis, une fois les fissures extérieures obturées et créant ainsi alentour du dépôt de gravier, une cuve étanche et résistante, le ciment injecté sous pression se tassait entre les fragments de roche et les cimentait en un béton compact.

Citons quelques constatations intéressantes relevées au cours soit du travail de cimentation, soit du creusement.

Aux *Charbonnages de Beeringen*, malgré les précautions prises pour éviter le calage des tubes (circulation du lait de ciment, rotation des tubes d'injections, etc.), ceux-ci se calèrent pour la plupart à la traversée du tuffeau par suite de la formation de bouchons de ciment.

Après ces essais, deux sondages de contrôle permirent de constater le résultat de l'injection.

Dans le tuffeau, il était nul. La cimentation était sans effet. Dans les craies et marnes sous-jacentes, le résultat était excellent. Les venues d'eau étaient supprimées. L'effet de la cimentation était tel qu'on envisagea la suppression du cuvelage. Un simple muraillement de béton fut établi. Dans la suite, on décida d'élever un cuvelage attendu qu'une fissure pouvant toujours se produire dans les terrains cimentés, le puits n'était pas, de ce fait, entièrement à l'abri d'une venue d'eau.

Aux *Charbonnages de Limbourg-Meuse* à Eysden, la quantité de ciment injectée dans le tuffeau fut faible. Les venues d'eau contrôlées par sondage persistèrent, mais diminuèrent.

Les craies et marnes furent aisées à cimenter. La quantité de ciment absorbée fut importante et les venues d'eau furent supprimées.

Des fissures existaient à la tête du houiller. Des essais de cimentation furent tentés, mais sans succès. Les roches étaient fortement altérées en sable et argile.

Aux *Charbonnages André Dumont*, les tubes d'injection se calèrent au niveau du tuffeau. Les résultats de la cimentation dans le tuffeau furent nuls. Dans les craies et les marnes, les résultats indiqués par les sondages de contrôle furent excellents : les venues d'eau étaient supprimées. Lors du creusement, les craies et les marnes présentaient des fissures de 4 à 5 millimètres imparfaite-

ment cimentées. Cependant, l'effet était excellent. Il n'y eut que des venues faibles facilement épuisées à la tonne.

Lors du sondage de reconnaissance exécuté pour l'étude du Hervien, il y avait eu dans le puits d'importantes venues d'eau par le sondage lui-même. Ces venues avaient entraîné de grandes quantités de sables fins. On avait injecté dans le sondage et par lui dans le terrain hervien du ciment. Les quantités de ciment injectées avaient même été supérieures et de beaucoup aux quantités de sable expulsées. Au creusement, on rencontra dans le Hervien congelé de grandes poches de ciment parfaitement compact ainsi que de nombreuses fissures cimentées. Certaines dépassaient 2 et 3 centimètres d'épaisseur.

A *Helchteren-Zolder*, on a entrepris une cimentation des morts-terrains et du houiller qui a donné des résultats satisfaisants : cette cimentation avait colmaté toutes les fissures des craies et marnes du crétacé, et avait supprimé une venue d'eau de la tête du houiller.

A la suite de ces constatations, on peut conclure :

1°) *Certaines roches sont rebelles à la cimentation.* Ce sont :

a) les *argiles* qui, délayées dans le lait de ciment, colmatent partiellement les fissures et provoquent des bouchons peu résistants, imperméables, qui empêchent toute cimentation prononcée. Ces bouchons peuvent céder localement en cas de surpression à l'injection, mais pour se reformer immédiatement. L'imperméabilité de la roche et son mélange facile avec le lait de ciment sont les deux principaux obstacles;

b) les *sables fins* qui, par leur finesse et leur enchevêtrement, constituent de véritables filtres et provoquent la séparation du ciment du lait de ciment;

c) les *tuffeaux* qui, par leur porosité, leur nature spéciale et leur texture, jouent un rôle analogue de filtre.

2°) Cependant, *des poches et fissures existant dans les sables et les tuffeaux peuvent être remplies ou colmatées* par un ciment résistant, à condition qu'il puisse y atteindre et que le tube d'injection ne soit pas séparé de ces espaces par des écrans filtrants.

3°) Les *meilleures roches* paraissent être les roches dures fissurées et les roches tendres assez compactes comme les craies et les marnes.

Cependant, dans le cas de roche dure, l'altération de celle-ci peut, par ses sables ou argiles, empêcher une action efficace de la cimentation;

4°) En ce qui concerne les *fissures*, on a pu remarquer que certaines d'entre elles (même assez larges, 3 ou 4 millimètres) peuvent ne posséder qu'un remplissage imparfait. La circulation intense d'eau préalablement à la cimentation a eu des effets excellents. Les fissures étaient parfaitement nettoyées;

5°) Les résultats des travaux de Campine et des essais réalisés à cette occasion permettent de détailler les modalités de la cimentation en nappes aquifères et de mettre en évidence l'action des résistances à la circulation du lait de ciment.

Du ciment injecté sans surpression dans l'eau ou dans une nappe aquifère ne se déposera pas ou, s'il se dépose, ne fera pas prise. Mais le lait de ciment croîtra en densité avec les résistances opposées à sa circulation et sous l'action de la pression se tassera et fera prise dans les fissures et dans les interstices entre les grains d'une roche. Le *ciment pénétrera donc une roche-grenue meuble et cimentera ses grains en béton compact tant que*

les dimensions de ceux-ci et leurs dispositions dans la roche n'en feront pas un filtre parfait.

Les essais exécutés et les résultats obtenus à Beeringen sont probants à cet égard;

6°) Enfin, à titre pratique, au point de vue résultats : la cimentation supprime les nappes aquifères sans cependant donner une étanchéité parfaite; les venues d'eau sont fortement réduites.

Une cimentation même fortement incomplète, comme dans le tuffeau par exemple, peut entraîner cependant une diminution dans le débit par suite de la cimentation de certaines fractures.

Dans aucun des puits de Campine, on n'a eu absence totale de venues d'eau à la traversée des passes cimentées, mais ces venues ont été excessivement faibles.

Il y a lieu évidemment de tenir compte du mode de réalisation de cette cimentation. Le ciment était injecté par des sondages à partir de la surface. Les terrains cimentés auraient pu présenter une étanchéité parfaite à la suite d'une injection supplémentaire de ciment partant des parois. C'est d'ailleurs ce que l'on a réalisé derrière le cuvelage des puits après achèvement de ceux-ci.

Nous en étudierons les résultats et la réalisation dans un chapitre ultérieur.

Importance des passes cimentées d'une seule venue.

Une question importante et qui s'était posée dès le début de l'emploi du procédé de cimentation, consistait dans l'importance des passes cimentées d'une seule venue.

Si la hauteur à cimenter est trop grande, en effet, le régime des fissures peut présenter une très grande variabilité; de plus, la nature des terrains, l'importance des

nappes aquifères et des teneurs en eau des terrains peuvent varier dans de grandes limites.

Or, il ressort et des travaux de cimentation entrepris avant 1910 et de ceux entrepris en Campine, que la nature des terrains, le régime aquifère et l'état de fissuration sont des facteurs essentiels dans la détermination des conditions de pression et de dilution du lait de ciment dans l'opération de la cimentation.

Quant au régime des fissures et cassures, il paraît essentiel de régler soigneusement la pression suivant l'importance de la largeur et l'amplitude du développement de ces cassures. Dans une roche finement fissurée en réseau très serré, il faudra, pour atteindre une zone de pénétration suffisante, une pression plus élevée que dans le cas d'un régime très large de fissures bien ouvertes. Cette augmentation est nécessaire pour vaincre le frottement que les joints et cassures présentent à la circulation du lait de ciment, frottement qui provoque un rapide dépôt de ciment et un colmatage des joints. Ce colmatage se réalise dès le voisinage des trous de sonde et nécessite, si l'on veut réaliser une grande pénétration du ciment, une surpression afin de vaincre les résistances supplémentaires, de déboucher les canaux naturels que constituent les fissures et de chasser plus loin le ciment.

Il est évident que tout ce qui réduit le frottement dans les fissures est avantageux. Par conséquent, un lait de ciment, de faible densité, sera plus approprié et atteindra une zone plus grande dans le cas d'une roche finement fissurée.

De ces quelques considérations, il résulte donc que la cimentation réalisée sur une passe importante entraîne, du fait même de cette grande hauteur de passe, la cimen-

tation de roches de natures différentes, diversement aquifères et présentant d'importantes variations dans le régime des fissures. La cimentation se faisant simultanément dans toutes ces couches à la même pression et avec la même dilution, il en résultera une grande irrégularité dans le résultat. Des zones peuvent être trop fortement cimentées, le ciment peut avoir atteint une aire de dépôt économiquement trop vaste alors que d'autres bancs sont insuffisamment colmatés.

Certes, cet inconvénient est partiellement réduit du fait des variations de pression et de dilution du lait qui sont réalisées au cours de l'opération. Mais ces variations se font simultanément et identiquement pour toutes les assises; utiles pour certaines, elles peuvent être superflues et même néfastes pour d'autres. Expliquons-nous par un exemple concret :

Un sondage recoupe une série de roches où le régime de fissuration varie fortement : à la base et au sommet, assez larges, les cassures se prolongent à grande distance. Dans la zone médiane, nous avons un réseau de cassures fines, fortement bifurquées et entrecroisées.

Alors qu'à la base et au sommet, une faible pression et un lait épais sont largement suffisants, au milieu il est nécessaire de chasser sous forte pression, un lait très dilué. Si au début nous marchons à faible pression avec lait épais, le ciment se déposera en d'excellentes conditions dans les cassures larges. Au milieu, il y aura seulement un manchon de terrain cimenté d'épaisseur réduite autour du trou de sonde. La pression pourra croître, la densité du lait diminuer, il n'y aura plus aucune pénétration de ciment dans les terrains de la zone médiane.

En réalisant une variation en sens inverse : d'abord un lait dilué à forte pression, nous voyons que ce lait de ciment sera absorbé d'abord par les terrains présen-

tant le minimum de résistance, c'est-à-dire les terrains largement fissurés. Le ciment se répandra dans une aire considérable inutilement sans que la cimentation soit parfaite dans la zone médiane, vu la grande différence de résistance qu'elle présente avec les autres assises. Donc dépense inutile au point de vue pratique et superflue au point de vue de l'aire cimentée. Le résultat est donc complètement anti-économique. De plus, une grande passe peut rencontrer des lits de roches poreuses faisant office de filtres et rejetant vers le trou de sonde le ciment du lait. Ce ciment constituant un bouchon opaque, cale les tubes d'injection et empêche toute cimentation prolongée d'une partie des assises recoupées.

* * *

Examinons maintenant la cimentation réalisée aux différents sièges de Campine.

Charbonnages André-Dumont.

Au siège n° 1, la cimentation fut tentée sur toute la hauteur des terrains, c'est-à-dire entre 300-510 mètres. Les tubes cimenteurs débouchaient à 500 mètres. Les tubes furent calés et bouchés par le ciment rejeté à hauteur du tuffeau entre 300-360 mètres.

Le tubage fut ensuite poussé à 360 mètres.

On remplit les trous de sonde avec du sable et on les refora par passes de hauteur variable, la cimentation suivant immédiatement le creusement. Ces passes furent :

- 360-380 dans des craies très aquifères;
- 380-410 dans des craies très aquifères;
- 410-450 dans des terrains calco-marneux peu aquifères;
- 450-510 dans des marnes non aquifères.

On remarquera la progression de l'importance des passes avec la diminution des teneurs en eau, et surtout que chacune d'elles correspond à un degré de cette teneur et par suite à un état moyen différent du régime des cassures.

Au siège n° 2, l'opération fut réalisée de même, mais une cassure très aquifère ayant été recoupée à la base du tuffeau à 353 mètres, on fit une passe supplémentaire de 340-360 mètres.

Charbonnages des Liégeois.

Les essais de cimentation tentés donnèrent peu de satisfaction. Les quantités de ciment injectées furent minimales et sans effet. On abandonna toute tentative.

Charbonnages de Beeringen.

Au puits n° 1, la cimentation fut réalisée sur toute la hauteur. Les tubes furent calés dans le tuffeau. Cependant, lors des contrôles et au creusement, la cimentation avait été utilement réalisée. Il y avait diminution des venues.

Au puits n° 2, on cimenta en deux passes : 390-485 mètres dans le tuffeau, puis 485-625 dans les craies et marnes de base du crétacé. Ceci fut uniquement réalisé de manière à éviter tout calage des tubes.

La cimentation fut particulièrement utile.

Charbonnages de Limbourg-Meuse à Eysden.

La cimentation se fit par passes de 5 mètres, sous 230 mètres. Les quantités de ciment injectées furent plus importantes proportionnellement qu'à Kleine-Heide. La cimentation se fit avec régularité.

Charbonnages de Helchteren-Zolder.

La hauteur de terrains cimentés était de 400 à 580 mètres. Les passes furent de 30 à 40 mètres et les résultats furent satisfaisants.

De ces opérations, il résulte à première vue que, sauf en ce qui concerne le calage au passage du tuffeau, les résultats pratiques apparents sont identiques dans le cas de grandes passes et de petites passes.

Mais en détaillant les opérations, on constate qu'aux Charbonnages André-Dumont, l'essai réalisé d'abord sur toute la hauteur des terrains à cimenter a été au point de vue pratique totalement défectueux, par suite de l'irrégularité de l'absorption du ciment.

Si nous considérons ensuite les tonnages de ciment injecté sous pression, on remarquera de grands écarts.

André-Dumont :

135 tonnes sous une pression de 15 à 32 kgr. par cm², pour 150 mètres au puits n° 1;

230 tonnes sous une pression de 12 à 30 kgr par cm², pour 170 mètres de haut et pour la cimentation d'une importante cassure à 353 mètres au puits n° 2.

Beeringen :

80 tonnes pour 95 mètres de tuffeau et 140 mètres de craies et marnes sous des pressions de 25 à 27 kgr. par cm² au puits n° 1;

52 tonnes pour les mêmes hauteurs, de terrains à cimenter sous des pressions de 28 à 32 kgr. par cm² au puits n° 2.

Il y a lieu de noter ici que l'absorption par le tuffeau fut très faible.

On constate que le tonnage absorbé aux puits des Charbonnages André-Dumont est plus important que celui de Beeringen, que les pressions auxquelles s'est faite cette injection présentent plus de variabilité à André-Dumont qu'à Beeringen.

Il semble donc qu'au point de vue de la cimentation, celle-ci est beaucoup plus nette, plus sûre dans le cas de passes de faible hauteur.

Il y a cependant une limite inférieure que l'on ne peut dépasser sans faire perdre de son économie au procédé.

En effet, si nous dressons le bilan théorique des avantages et désavantages du procédé, nous devons faire figurer au débit du procédé par courtes passes, l'inconvénient que celui-ci présente de multiples reprises de sondages. En effet, après chaque passe, le forage est interrompu, l'outillage doit être retiré du trou et démonté, l'installa-

tion de cimentation doit être réinstallée, d'où de considérables pertes de temps.

De plus, dans l'opération totale de cimentation, le temps du forage est prépondérant. Or, nul sondeur ne niera que cette opération est bien plus rapide si l'on fore d'une seule venue sur toute la hauteur qu'en s'y reprenant à plusieurs passes.

Il y a ensuite les multiples opérations de tubage et détubage qui entraînent une nouvelle perte de temps. On voit donc qu'il est dangereux et coûteux de multiplier les passes en réduisant leur hauteur. A ce titre, le système employé aux Charbonnages de Limbourg-Meuse d'opérer par passes de 5 mètres apparaît comme défectueux. La direction des travaux s'en est d'ailleurs aperçue, car, au cours du travail, à certains sondages, elle a augmenté la hauteur des passes, les portant à 10 et même 15 mètres.

Il paraît ainsi que les meilleures hauteurs de passes sont d'une trentaine de mètres pris d'ailleurs autant que possible de manière à ne recouper qu'une seule nature de roche, présentant un régime aquifère sensiblement constant sur toute la hauteur et un système de cassures également réparties et de même importance. *Dans ce cas, la cimentation jouit de tous les avantages d'un réglage en harmonie avec les conditions dans lesquelles on se trouve placé du fait de l'état des roches sans cependant exagérer les inconvénients de passes multiples.*

En résumé, nous pouvons donc conclure :

Qu'au point de vue de la hauteur des passes à cimenter, il est intéressant, au cas où la cimentation a pour objet un complexe de couches de natures différentes, diversement aquifères et possédant des systèmes de cassures d'importance variable, de préférer au procédé de cimentation en une seule passe, le procédé par passes

multiples, chacune de celles-ci recoupant si possible des *couches de même nature et présentant une uniformité moyenne* au point de vue aquifère et fractures.

Ces passes ne doivent pas être trop réduites et trop nombreuses sous peine d'entraîner des pertes de temps onéreuses et un rendement économique inférieur.

La réalisation de la cimentation des terrains se fait par des sondages forés sur toute la périphérie du puits à creuser.

Comme dans le cas de la congélation, ces sondages seront creusés avec rapidité de manière à gagner le plus de temps. Le forage au trépan a été le procédé principalement utilisé en Campine. Nous avons indiqué ci-dessus quels inconvénients au point de vue sondage entraîne le procédé de cimentation par passes successives : perte de temps pour le maniement des appareils, lenteur du forage.

Dans ce cas, on doit évidemment accélérer le plus possible par une *bonne organisation des services*.

On a pu ainsi combiner les opérations dans divers sondages voisins, de manière qu'elles se succèdent avec un certain décalage. Les instruments de travail n'étaient jamais laissés en repos. Pendant que le ciment faisait prise dans un sondage ou deux, la cimentation était en train dans un troisième et le forage dans un quatrième.

Le service est aussi organisé d'une manière continue pour les divers organes.

La Compagnie Foraki a utilisé une série d'appareils qui permettent d'accélérer le travail à un même sondage. Pendant la prise même du ciment injecté dans les crevasses, elle réalise au même sondage la reprise du ciment qui s'est déposé dans le trou de sonde, elle procède à la reprise de fonçage de la passe suivante, à son lavage, et ensuite à sa cimentation.

Les diverses opérations peuvent se succéder sans autres retards que ceux nécessités par le changement d'appareillage.

Les passes non cimentables sont tubées. Ce tubage est isolant et supprime toute communication de la sonde avec les nappes ainsi isolées. A la base de ce tubage, on établit une frette étanche en ciment.

Lorsque les sondages doivent être ultérieurement utilisés pour la congélation, comme il en a été dans les travaux de Campine, les tubes sont retirés après le placement des tubes congélateurs. C'est là une opération délicate et qui peut amener de nombreux accidents : ruptures de tubes, pertes, etc.

Aux *Charbonnages de Beeringen* où l'on a procédé en deux passes successives : 390 à 485 mètres, puis 485 à 625 mètres, le trou a d'abord été tubé jusqu'à 390 mètres, niveau auquel on a établi une frette étanche en ciment, puis le creusement a été poursuivi jusque 485 mètres et l'on a injecté le ciment par un tube descendu jusqu'à 400 mètres.

La cimentation achevée, on a tubé l'assise 390-485 en rendant le tubage étanche par une injection de ciment. Ceci était justifié parce que le ciment n'avait guère pénétré les terrains constituant l'assise. La nappe aquifère devait être isolée. De plus, afin d'éviter tout calage pendant la cimentation des terrains inférieurs à 485, il importait que la masse de tuffeau qui occupait la hauteur 390-485 mètres ne vint pas jouer son rôle néfaste de filtre.

On voit que le tubage a également pour effet d'isoler les couches susceptibles d'entraîner des inconvénients graves.

Combien de sondages de cimentation doit-on forer sur la périphérie du puits à creuser et à quelle distance du centre?

Sur cette question, les travaux de Campine apportent peu de données nouvelles.

Tous les sondages de cimentation ont été des sondages utilisés ultérieurement pour la congélation.

Aux *Charbonnages André-Dumont* ainsi qu'aux *Charbonnages de Helchteren*, la cimentation fut réalisée par quatre sondages disposés aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires. Aux *Charbonnages de Kleine-Heide*, elle fut obtenue par l'intermédiaire de douze sondages au puits n° 1 et de quatre seulement au puits n° 2.

Aux *Charbonnages d'Eysden*, on utilisa également quatre sondages. Il semble donc, à la suite de ces travaux entrepris en Campine, que l'utilisation de quatre sondages seulement disposés aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires à des distances de 5 à 6 mètres du centre du puits suffise pour assurer une cimentation de terrains sans pour cela exiger des pressions exagérées, ni des dilutions trop accentuées.

Deux faits seulement permettent d'étayer cette appréciation. Les *Charbonnages André-Dumont* envisageaient l'utilisation de dix sondages. A la suite d'incidents lors des premières tentatives de cimentation, ils furent amenés à ne plus en utiliser que quatre. Devant les résultats obtenus, ils opérèrent également avec quatre sondages au puits n° 2. Aux *Charbonnages de Beeringen*, après avoir réalisé la cimentation avec douze sondages au puits n° 1, on en utilisa seulement quatre au puits n° 2.

Ces exemples sont cités à titre documentaire. On sait que la technique de la cimentation a évolué dans un tout autre sens et qu'elle fait application courante du système de très nombreux sondages de petit diamètre.

A l'époque des fonçages de Campine, une autre question encore se posait : n'y aurait-il pas intérêt à réaliser la cimentation simultanément par tous les sondages? Des essais ont été entrepris à Beeringen : injection simultanée par douze, puis par quatre sondages, et à André-Dumont : injection simultanée par quatre sondages; ils ont démontré la nécessité d'une injection séparée pour chaque sondage. En effet, en réalisant simultanément l'injection par tous les sondages, on peut se trouver dans les mêmes difficultés que pour la cimentation par une seule passe : les différents sondages recoupent les mêmes bancs, mais ceux-ci peuvent présenter des différences parfois légères, parfois importantes, dans leur état de fissuration. Certes, les irrégularités sont moins grandes que dans le cas d'une seule passe, mais ce n'est pas cependant sans exception. Le lait de ciment est injecté simultanément en différents circuits présentant des écarts assez sensibles de résistance, d'où des irrégularités d'action peu perceptibles, puisque les organes de contrôle en surface ne donnent que des résultats moyens. Ceux-ci peuvent masquer la défektivité de la cimentation dans tel ou tel sondage, défektivité directement perceptible si l'on agit isolément sur chaque sondage.

En conséquence, il apparaît comme préférable de réaliser la cimentation isolément sur chaque sondage. L'appareillage est d'ailleurs plus simple et l'opération bien plus facile à conduire.

* * *

Il reste encore quelques détails à mentionner pour la réalisation de la cimentation.

Lavage des trous de sonde et des terrains. Dès les débuts de l'emploi du procédé de cimentation, la nécessité s'est fait sentir d'opérer un lavage des trous de sonde

et des fissures du terrain afin de les dépouiller de tout enduit, encrassement, etc., qui, se mêlant au lait de ciment, en contrarierait la prise ou la pénétration à grande distance.

Ce lavage peut être réalisé de deux manières : soit par refoulement, soit par aspiration de l'eau.

Ces deux procédés ont été appliqués en Campine. Le lavage par injection d'eau consiste d'abord en un curage du trou. L'eau est chassée par le tube cimenteur, descendu dans le trou de sonde et relié à une pompe installée en surface. L'eau remonte boueuse, entraînant tous les débris qui emplissent le trou de sonde et les orifices des fissures et sort par un robinet d'écoulement fixé avec un manomètre sur l'orifice du tubage du sondage. Dès que le trou de sonde est nettoyé, ce que l'on constate par le retour d'eau claire, on ferme le robinet d'écoulement et on force la pompe de manière à créer une surpression chassant l'eau dans la nappe aquifère. L'eau pure pénétrant dans le terrain par les fissures y refoule les dépôts.

Le lavage par aspiration se fait en épuisant l'eau du trou de sonde. Aux Charbonnages de Beeringen, il a été réalisé par émulsion. On a descendu dans le sondage un tube de 125 millimètres de diamètre, dans lequel débouchait un tube plus étroit, long de 140 mètres seulement, par où on injectait de l'air comprimé.

Le débit ainsi réalisé atteignit 62 mètres cubes à l'heure. L'aspiration d'eau se fait irrégulièrement, mais on peut dire que, pratiquement, elle est complète et efficace sur une douzaine de mètres en-dessous du pied du tube aspirateur. Plus bas, son action faiblit et tend rapidement à être nulle. Aussi l'opération fut-elle réalisée par passes successives en ce sens que le tube aspirateur fut descendu de 10 mètres à la fois. Après chaque descente, on injectait l'air comprimé. Le sondage débitait

d'abord de l'eau chargée de débris qui, peu à peu, se clarifiait; quand l'eau débitée était claire, on abaissait à nouveau le tube de 10 mètres et on recommençait l'aspiration.

La critique des deux procédés peut se résumer ainsi :

Si le forage se fait par un procédé à curage continu, il est naturel de forcer la marche quand une passe est terminée pour réaliser le curage du trou de sonde. Mais le procédé par injection est déficient pour le lavage des fissures du terrain, car il refoule dans le terrain lui-même les boues à éliminer. Les dépôts ne sont pas supprimés. Ils peuvent bien au contraire créer des obstructions nouvelles et empêcher la pénétration du ciment.

Par contre, le procédé par aspiration réalise l'enlèvement de tous les dépôts, enlèvement toujours contrôlable, puisque les eaux débitées le sont en surface. Ce procédé élargit le champ d'action du ciment en dégagant les voies dans une aire croissante à mesure du curage. Il est toujours loisible de contrôler son activité par l'état des eaux débitées. L'emploi de l'émulsion par air comprimé supprime les inconvénients d'une pompe aspiratrice avec des organes toujours sujets à embouement.

En résumé, pour le trou de sonde, le curage par injection d'eau paraît préférable; il donne en outre des indications sur l'état de cassures si l'on a soin de surveiller le manomètre et le débit du courant de retour. Mais pour le lavage des cassures du terrain, l'aspiration par émulsion d'air comprimé des eaux mêmes des nappes est un système présentant les meilleures garanties.

C'est ainsi qu'aux Charbonnages de Helchteren et Zolder, on réalisa un système mixte : le trou de sonde

fut lavé par injection d'eau et les fissures du terrain par émulsion sous l'action de l'air comprimé.

Injection du ciment.

Les sondages de cimentation devant aussi servir à la congélation ont subi quelques aménagements, de manière à s'adapter à cette double destination.

Ainsi les trous de sonde ont été munis d'un tubage étanche sur la hauteur des assises non cimentables. Ce tubage est particulièrement surveillé en ce qui concerne les joints. S'il y a lieu, on renforce l'étanchéité en faisant des injections de ciment derrière, mais ceci est à rejeter le plus possible en considération du détubage. On veille également à ce que le tubage soit muni à sa base d'une frette étanche, ordinairement en ciment. Ces joints ont été soigneusement réalisés dans les différents fonçages de puits en Campine.

De plus, les têtes des tubages sont reliées au terrain par un joint de béton.

Le tube de tête porte de plus à sa partie supérieure : 1°) un plateau sur lequel se visse un presse-étoupe au travers duquel peut glisser le tube d'injection de ciment; 2°) un robinet d'écoulement à fermeture étanche et 3°) un manomètre qui permet de mesurer la pression à la sortie. Le tube d'injection est relié par un conduit flexible et amovible à la pompe qui aspire dans la cuve où se fait le mélange. L'extrémité inférieure du tube d'injection débouche à quelques mètres au-dessus du fond du sondage, sans qu'il y ait cependant de lois à observer. Ainsi, aux Charbonnages de Limbourg-Meuse, la hauteur des passes étant de 5 mètres, l'extrémité inférieure du tube débouchait à 0^m,75 au-dessus du fond. Aux Charbonnages André-Dumont, la cimentation étant faite sur une passe

de 300 à 511 mètres, l'extrémité inférieure du tube se trouvait à 500 mètres.

Les pompes sont évidemment construites de manière à présenter le minimum d'usure et de détérioration : suppression des clapets et remplacement par des boulets d'acier, soin apporté aux sièges pour éviter une usure trop importante par matage, etc. Ces pompes doivent être robustes, de maniement facile et présenter une souplesse suffisante pour s'accomoder de rapides variations de pression. De même, le mélange doit être fréquemment vérifié quant à la teneur du lait en ciment afin d'éviter soit un lait trop dense qui colmaterait les joints trop rapidement, soit un lait trop fluide qui serait sans effet.

Le curage du trou de sonde et des fissures du terrain étant achevé, on relie le tube d'injection à la pompe et on injecte le ciment.

L'injection de ciment se fait soit à robinet fermé, soit à robinet ouvert. Nous parlons ici du robinet placé sur le tubage pour le retour du ciment dans l'espace annulaire du tube d'injection.

Dans la marche à robinet fermé, la pression est d'abord faible, puis va en croissant à mesure que le colmatage se fait plus intense. Dès que la pression indiquée au manomètre atteint des valeurs trop élevées, on est obligé d'ouvrir le robinet d'écoulement de manière à abaisser la pression, éviter les à-coups ou poussées trop fortes sur les appareils. Dès que par suite de la désobstruction de fissures, la pression s'abaisse, on referme le robinet. Le ciment qui sort par ce robinet est ramené vers la cuve de mélange.

A Beeringen, on a réalisé la cimentation en maintenant constamment le robinet partiellement ouvert. La pression était évidemment affaiblie, mais ce système

avait l'avantage de créer une circulation continue du ciment dans le trou de sonde. On évitait ainsi les calages intempestifs du tube d'injection. Ce système n'a pas donné toutes les satisfactions que l'on en attendait. Les tubes se sont quand même calés dans le tuffeau. Les valeurs atteintes pour la pression n'ont pas dépassé 27 kilogrammes par centimètre carré, tandis qu'ailleurs, on obtenait 30 à 35 kilogrammes.

A la suite des travaux de Campine, on peut dire que le procédé le meilleur consiste dans l'injection du ciment à robinet fermé. Celui-ci n'est ouvert qu'à la fin de l'opération pour éviter les à-coups ou les pressions trop brusques.

En ce qui concerne la densité du lait de ciment, on peut citer quelques chiffres de densités de lait utilisées en Campine. A Beeringen, la densité du lait initialement injecté était de 1/1000 en poids et fut progressivement élevé à 5 %. Aux Charbonnages André-Dumont, la teneur du lait de ciment fut de 10 à 20 % au puits n° 1, 10 à 15 % au puits n° 2. Les résultats sont apparus aussi médiocres d'un côté que de l'autre. La plus grande partie du ciment est revenue à la surface. Cependant, il semble que la cimentation ait été moins parfaite à André-Dumont. Les pressions exigées à la fin furent d'ailleurs supérieures à celles réalisées à Beeringen.

En général, les travaux de Campine confirment les directives générales déduites des premiers travaux de cimentation de puits : le lait de ciment ne peut pas être trop dense, des valeurs de 20 % sont trop fortes, 15 % paraît être un maximum, 10 % sera une honnête moyenne. La teneur en ciment est d'ailleurs très variable suivant la période de la cimentation. Il faut, en effet, que la cimentation atteigne une grande aire autour du son-

dage et qu'elle soit parfaite, c'est-à-dire que toutes les fissures soient bien colmatées. Au début, on injectera un lait de ciment peu dense afin d'atteindre les extrémités de la zone cimentable; un lait trop dense se déposerait rapidement et aux environs immédiats du sondage. Ensuite, on augmentera peu à peu la teneur en ciment jusqu'à atteindre des teneurs de 10 % en moyenne. Peu à peu, les fissures se colmateront ainsi en se rapprochant du sondage; dès que la pression d'injection atteindra des valeurs trop importantes, on réduira la teneur en ciment, on diluera le lait. Celui-ci pourra ainsi pénétrer dans des espaces de plus en plus étroits et parachever le colmatage. Les teneurs de début et de fin dépendent évidemment de la fissuration plus ou moins fine des terrains. Plus elle est fine, plus le lait doit être dilué.

Au cas où une désobstruction se produirait brusquement, amenant de trop importants abaissements de pression, la teneur du lait de ciment doit croître de manière à réaliser un colmatage nouveau de la voie qui s'est rouverte. Ce colmatage doit évidemment être à nouveau réalisé de manière parfaite et complète.

La cimentation achevée, on fore quelques sondages de contrôle afin de vérifier en des points particulièrement délicats si la cimentation a été parfaite; dans ces sondages, on mesurera avec soin les venues d'eau, après avoir soigneusement isolé par tubage et frettes étanches les passes aquifères non cimentées.

* * *

Résultats de la cimentation.

Nous avons déjà indiqué que, du fait de la nature poreuse du tuffeau, les assises constituées par cette roche n'avaient pu être cimentées.

La cimentation n'a pu dans aucun des puits où elle a été réalisée, réduire à zéro les venues d'eau. Celles-ci ont été fortement réduites, mais ont persisté. Vu les faibles valeurs auxquelles elles étaient ainsi réduites, on a généralement pu épuiser ces venues à l'aide des benues d'extraction des déblais, c'est-à-dire sans devoir installer des dispositifs spéciaux d'épuisement.

La cimentation a donc permis la traversée de certaines passes de terrain aquifère sans nécessiter de congélation, mais elle n'a pas dispensé de la pose d'un cuvelage.

CHAPITRE IX.

Cimentation postérieure au creusement.

Aux Charbonnages André-Dumont, on a réalisé après la congélation, une cimentation supplémentaire des terrains.

Les têtes et raccords des tubes congélateurs ayant été démontés, les tubes intérieurs retirés et les tubes extérieurs abandonnés dans les sondages et nettoyés, on procéda, en utilisant un outil spécial, au percement des tubes extérieurs. De 7 en 7 mètres, on perça ainsi quatre trous de 1 à 2 centimètres carrés de section. Les tubes furent enfin reliés à une cuve où l'on réalisait un mélange de ciment et d'eau. On injecta ainsi avec une surpression de 5 à 6 kilogrammes par centimètre carré, 350 tonnes de ciment dans les terrains inférieurs du Tertiaire. Cette opération se fit en deux passes successives, d'abord entre 380 et 290 mètres, puis entre 290 et 150 mètres. L'absorption se fit très aisément. Il semble qu'il en soit résulté une diminution des venues d'eau par les joints du cuvelage.

Aux Charbonnages de Helchteren, à la suite de venues d'eau importantes qui s'étaient faites jour à hauteur du houiller et du crétacé lors de la décongélation, il fut décidé d'opérer une cimentation de la tête du houiller et du crétacé. A cet effet, on utilisa quelques-uns des congélateurs, autant que possible répartis de manière uniforme à la périphérie du puits.

Ayant retiré les tubes intérieurs et ayant nettoyé les tubes extérieurs, on perça les tubes à leur base d'abord

et l'on injecta du ciment sans pression après avoir soigneusement lavé les tubes et les roches par injection d'eau sous pression. Après cimentation du houiller, on effectua la même opération pour le crétacé. Six sondages furent utilisés à cet effet. Plus de 300 tonnes de ciment furent absorbées. Les venues d'eau ont été fortement réduites et le travail a pu reprendre avec succès.

D'autres concessionnaires ont réalisé également des injections de ciment par les trous des sondages de congélation. Il en est qui obtinrent des résultats jugés assez bons, d'autres qui abandonnèrent cette cimentation après quelques essais infructueux.

Il est évident que la cimentation pratiquée postérieurement au creusement nécessite, pour être efficace, les mêmes conditions que la cimentation préalable. Elle sera parfaite dans des terrains cratacés fissurés ou du houiller fracturé ou tout autre terrain de consistance et d'état analogue. Dans un banc sableux, elle sera mauvaise. Mais ce qui est un résultat mauvais dans le cas d'une cimentation préalable peut être encore suffisamment bon dans le cas d'une cimentation postérieure.

Dans ce cas, en effet, il ne s'agit plus d'immobiliser les eaux dans un grand espace autour du puits et de créer un cuvelage monolithe résistant par lui-même à la pression hydrostatique, mais simplement d'assurer une liaison entre le terrain et le cuvelage métallique, de rendre celui-ci plus étanche et plus résistant.

Il semble donc très utile pour la sécurité future du puits d'injecter du ciment par les tubes congélateurs. Le résultat sera satisfaisant pour les terrains susceptibles de cimentation. Si l'absorption est nulle dans certains bancs, il sera inutile de poursuivre l'injection. Le trou de sonde se fermera d'ailleurs par le dépôt du ciment refusé par le terrain.

CHAPITRE X.

Cuvelage et revêtement.

Les puits furent tous cuvelés sur toute la hauteur des morts-terrains et maçonnés ou bétonnés dans les parties creusées en terrain houiller.

A Beeringen, on s'était contenté d'un revêtement de béton armé dans une passe de terrain peu ou pas aquifère, préalablement cimenté d'ailleurs; un accident assez grave survint par suite de la mise en communication de cette assise et spécialement de la zone voisine du revêtement avec la nappe aquifère supérieure. Cette mise en communication résultait de l'existence d'un trou de sonde abandonné. Une importante fissure résultant d'un tassement de terrain aurait pu amener la même conséquence.

La poussée excédant toutes les prévisions, le béton céda, créant ainsi une excavation par où l'eau put sourdre avec force. Le revêtement ne fut pas entièrement démoli.

Il y eut arrachement d'un bloc qui resta suspendu par son armature. La cimentation à niveau plein par le puits fut d'un précieux secours et permit une réparation parfaite. A la suite de cet accident, on doubla toute la passe en béton armé par un cuvelage en métal. Cet exemple prouve la nécessité de cuveler les morts-terrains à nombreuses nappes aquifères sur toute leur hauteur.

La maçonnerie ou le bétonnage peuvent suffire à la traversée des terrains cohérents du paléozoïque. Cependant, on laisse le cuvelage pénétrer d'une certaine hauteur dans le socle paléozoïque de manière à se préserver

contre toutes les venues d'eau qui pourraient survenir par suite de l'état d'altération et de désagrégation de la partie supérieure du houiller immédiatement sous-jacent aux nappes herviennes.

Dans le même ordre d'idées, on a été amené à placer quelques anneaux de cuvelage au passage d'une veine importante existant à la partie supérieure du houiller recoupé sous les morts-terrains et qui, affleurant sous ceux-ci, constituait un drain excellent pour les eaux de certaines nappes.

Mais à partir d'une certaine profondeur dans le houiller, le revêtement est partout constitué par de la maçonnerie ou du béton.

* * *

Les cuvelages utilisés en Campine sont en fonte ou en acier. Le métal a été soumis à une série d'épreuves de résistance à la traction, à la flexion et au choc dont nous donnons le détail pour certains dans les monographies annexées. De plus, les pièces achevées ont été elles-mêmes vérifiées avec soin en ce qui concerne l'homogénéité du mélange, sa composition, sa cohérence et sa compacité.

L'assemblage a été vérifié avec soin et les tolérances ont été dans certains cas réduites dans d'extrêmes proportions. Les cuvelages utilisés ont été simples ou doubles. L'épaisseur variait suivant la profondeur et les conditions de sollicitation auxquelles les pièces allaient être soumises.

Ainsi, aux Charbonnages André-Dumont, l'épaisseur du cuvelage passait de 30 millimètres à la partie supérieure à 130 millimètres en profondeur. Aux Charbonnages de Limbourg-Meuse, le cuvelage en fonte avait 35 millimètres d'épaisseur à la tête et 180 millimètres

à 470 mètres de profondeur. C'est une épaisseur fort élevée, qui n'a jamais été atteinte dans les puits des houillères. De telles épaisseurs présentent le risque de soufflures dans le métal, ce qui en altère les conditions de résistance. Aussi, en profondeur de plus de 400 mètres, ceux qui redoutent cette éventualité préfèrent installer un double cuvelage. La résistance des deux anneaux est rendue solidaire par l'intercalation dans l'espace annulaire intermédiaire de béton compact de bonne qualité soigneusement damé.

Aux Charbonnages de Beeringen et aux Charbonnages André-Dumont, pour la traversée de la nappe hervienne (60 et 50 atmosphères de pression), un cuvelage double a été nécessaire parce qu'on ne disposait pas d'appareils de levage suffisamment puissants pour descendre les anneaux d'un cuvelage simple.

Aux Charbonnages des Liégeois, où cependant le diamètre utile était de 5^m,25, on installa un cuvelage simple en fonte jusque 290 mètres et plus bas un cuvelage double. L'épaisseur des derniers anneaux du cuvelage simple atteignait la valeur de 130 millimètres, considérée depuis longtemps dans les ouvrages classiques comme limite de garantie de fabrication. L'opinion régnante était alors qu'au-delà, la coulée des pièces de fonte se fait difficilement sans soufflures et que celles-ci sont plus difficilement discernables. Mais il est loisible d'établir dans les contrats des spécifications et des vérifications sur éprouvettes tirées de segments de cuvelage brisés intentionnellement ou de carottes forées. Les progrès de l'usinage, attestés par ces essais, permettent de couler jusqu'à 200 millimètres d'épaisseur.

Les cuvelages ondulés à grand module de flexion furent employés aux Charbonnages André-Dumont, Bee-

ringen et Zolder, ce qui permit de réduire notablement l'épaisseur.

Ces cuvelages font d'ailleurs meilleure prise avec le béton.

CUVELAGES UTILISÉS DANS QUELQUES PUIITS DE CAMPINE.

Charbonnages de Kleine-Heide (Beeringen).

Cuvelage du type ondulé à saillies intérieures.

Les anneaux ont 1^m,497 de hauteur, ils sont constitués de 10 à 12 segments de manière à réduire le poids de chaque pièce maniée. Sur la hauteur, elle porte trois ondulations extérieures. Les trous de boulons de liaison sont distants de 150 millimètres. L'épaisseur minimum est de 38 millimètres. Le cuvelage est fait en fonte de seconde fusion et première qualité, grise à grain fin. La teneur en phosphore étant au maximum de 1,25 %.

Cuvelage double à la traversée du Hervien (voir détails dans les Monographies).

Note. — Nous n'abordons pas ici la critique du mode de calcul des pièces de cuvelage ainsi que l'établissement des méthodes de calcul les plus exactes et les plus précises. M. L. Denoel, professeur d'Exploitation des Mines à l'Université de Liège, a publié sur cette question, une étude détaillée qui épuise la question actuellement.

Il nous eût ainsi suffi de résumer cette étude.

Nous rappelons cependant qu'il y a actuellement trois méthodes employées :

1° Calcul du cuvelage en négligeant les nervures. Seule la paroi cylindrique résiste.

2° Sur les bases de ce calcul, on procède à des déterminations empiriques des dimensions et formes des pièces d'après les résultats obtenus en travaux similaires (actuellement employée par la Compagnie Foraky pour le calcul du cuvelage de Houthaalen).

3° Calcul complet du cuvelage : influence des nervures, de la forme, etc. (méthode la plus exacte utilisée par la Compagnie Franco-Belge de Fonçage).

Charbonnage de Winterslag.

Les anneaux de cuvelage sont constitués en 11 segments. Ils ont 1^m,50 de haut et portent intérieurement deux nervures horizontales et une verticale. La surface extérieure est cylindrique, l'épaisseur minimum est de 0^m,35.

Charbonnages des Liégeois à Zwartberg.

On a placé un cuvelage simple jusque 290 mètres. Au-delà, un cuvelage double. Les anneaux étaient constitués chacun de 10 segments de 1^m,50 de haut à surface extérieure lisse et deux nervures horizontales vers l'intérieur. Les joints verticaux sont disposés de manière imbriquée. Cuvelage en fonte. Le cuvelage était encore raidi par la pose de trusses.

Charbonnages de Limbourg-Meuse.

Cuvelage constitué d'anneaux en 12 segments de 1^m,50 de haut. L'épaisseur varie sur toute la hauteur de 35 à 180 millimètres. Les anneaux portent deux nervures horizontales et extérieurement une saillie destinée à faciliter la prise avec le béton damé derrière le revêtement.

Le cuvelage est en fonte.

Charbonnages de Helchteren-Zolder.

Puits n° 1, diamètre 5 mètres. Cuvelage bombé simple jusqu'à 566 mètres. Epaisseur croissante de 30 à 120 millimètres. Nervures très larges, croissant de 150 à 300 millimètres. De 566 à 610, cuvelage double. Enveloppe extérieure lisse, 40 millimètres d'épaisseur en acier coulé, intérieure en fonte de 130 millimètres. Boîte spéciale de raccord entre les deux cuvelages au sommet de la passe.

Puits n° II, diamètre 6 mètres. Cuvelage simple du haut au bas. Anneaux bombés, même profil qu'au n° I. Epaisseur croissant de 30 à 170 millimètres. Hauteur des segments jusqu'à 120 millimètres : 1^m,50 ; aux fortes épaisseurs : 1^m,20.

On trouvera d'autres renseignements concernant les cuvelages dans les monographies annexées à la présente étude.

En général, on voit que le type principalement utilisé en Campine est le type de cuvelage en fonte à surface extérieure lisse présentant intérieurement des nervures horizontales destinées à renforcer la résistance et à faciliter en outre la pose du guidonnage. Parfois, il y a une nervure verticale ou des consoles destinées à renforcer les passes. Les anneaux sont divisés en segments. Ceux-ci sont en nombre tel que le maniement soit aisé, le poids étant réduit, sans cependant multiplier le nombre de joints qui sont toujours des points faibles.

Les anneaux à surface extérieure ondulée ont paru intéressants à certain point de vue, l'ondulation augmente la résistance et facilite l'adhérence au béton.

Nous allons dans les pages qui vont suivre étudier quelques détails de la pose du cuvelage, à savoir :

1° L'établissement du cuvelage et son garnissage extérieur ;

2° Le soin apporté aux joints ;

3° La vérification des pièces de cuvelage ;

4° La réparation des pièces de cuvelage ;

Enfin, dans un chapitre différent, nous étudierons en détail la question des raccords de cuvelage et des trusses.

Quant aux accidents qui sont arrivés au cours des travaux, nous en parlerons dans les études monographiques qui forment la deuxième partie du présent mémoire.

1. — ÉTABLISSEMENT DU CUVELAGE.

Le cuvelage est établi au diamètre intérieur utile du puits. Le puits est creusé à un diamètre notablement supérieur, ceci afin de faciliter le maniement et la pose des pièces et de permettre le bétonnage derrière le cuvelage d'un anneau de ciment qui fait corps avec le terrain

et le revêtement et établit la transmission des charges tout en contribuant à l'étanchéité.

Il y a lieu de considérer quelle sur-largeur il faut tolérer au creusement.

En général, on dame derrière le cuvelage une épaisseur de 25 à 30 centimètres de béton. Parfois, ce béton est de composition variable suivant l'épaisseur, mais on veille toujours que ce soit du béton résistant assez riche en ciment. Outre son rôle de répartir la pression du terrain sur le cuvelage, il augmente la résistance et l'étanchéité. Les cuvelages ondulés font corps avec ce béton qui reporte sur le terrain le poids de la masse métallique, avantage très appréciable, surtout dans la pose en descendant. Il en est de même lorsque, comme nous l'avons indiqué pour les Charbonnages de Limbourg-Meuse, le cuvelage porte extérieurement des nervures.

On pourrait encore renforcer le béton par le placement préalable dans sa masse d'une armature métallique qui serait reliée à des anneaux solidaires du cuvelage; il y aurait ainsi renforcement du béton et liaison parfaite entre les éléments constituant le revêtement. Cette espèce de cuvelage mixte n'a pas été appliquée en Campine.

Aux Charbonnages de Limbourg-Meuse, le diamètre de creusement fut notablement supérieur au diamètre extérieur du cuvelage. Ceci permettait de réaliser un matage extérieur des joints en plomb et d'assurer ainsi une meilleure étanchéité. Il y avait évidemment du fait de ce plus grand diamètre un surcroît de dépense au creusement.

Et il semble que cette dépense supplémentaire n'entraînait pas en contre-partie un surcroît d'étanchéité tellement grand qu'il en résultait un bilan économique.

Le béton damé contient d'ordinaire un quart de ciment. Le reste est constitué de gravier, de plaquettes et de sable.

Aux Charbonnages de Limbourg-Meuse, on établissait d'abord contre le terrain un recouvrement en béton comprenant $1/2$ de cendre et $1/2$ de sable et 100 kilogrammes de ciment au mètre cube. Derrière le cuvelage, on bétonnait sur une épaisseur de 35 centimètres avec un mélange de $3/4$ de gravier et un quart de sable contenant 300 kilogrammes de ciment au mètre cube.

Le béton était damé derrière le cuvelage après la pose de quelques anneaux, dans le cas de cuvelage posé en montant. Dans le cas de cuvelage posé en descendant et pour le remplissage derrière le dernier segment de l'anneau de raccord, on injectait par des ouvertures ad hoc un mélange moitié ciment moitié sable.

Placement du cuvelage.

Le cuvelage était placé ordinairement en montant par passes successives. Dans le cas de terrain facilement ébouleux ou sujet à de fortes poussées, le cuvelage était placé en descendant.

Parfois le cuvelage est renforcé par l'intercalation de trusses non picotées dont le seul rôle est de raidir le cuvelage (Charbonnages des Liégeois). Parfois aussi, le cuvelage est placé par passes assez courtes. Dans ce cas, il a une composition un peu spéciale (Charbonnage de Limbourg-Meuse).

Nous allons rapidement esquisser le mode de montage employé dans ces différents cas :

Quand le *cuvelage est placé en montant*, on choisit ordinairement une assise assez résistante et conservant ses qualités même après la congélation. On établit alors dans cette assise une banquette soigneusement arasée où l'on pose une trousse soigneusement picotée. Sur cette trousse, on monte ensuite les divers anneaux, segment par segment. La pose d'un segment d'un nouvel anneau

n'est faite qu'après achèvement du montage de l'anneau précédent. Les anneaux successifs sont montés dans des sens alternants afin d'éviter la torsion du cuvelage. Les joints verticaux sont également disposés en quinconce de manière à présenter le moins possible de joints continus.

Après montage de 3 ou 4 anneaux, on dame le béton derrière. Parfois ce damage se fait après la pose de chaque anneau.

Dans le *cas du cuvelage posé en descendant* à mesure du creusement, on procédait de la manière suivante :

Après avoir creusé sur une hauteur un peu supérieure à la hauteur d'un anneau, on établissait au fond de l'avaleresse une surface circulaire soigneusement arasée où l'on montait l'anneau de cuvelage, cet anneau était rattaché au dernier anneau placé par une série de longs boulons qui étaient progressivement et uniformément serrés. Ce mouvement de serrage se faisait simultanément pour tous les boulons. En général quatre à six par anneau.

L'anneau s'élevait ainsi régulièrement et sans déformation et venait se placer exactement sous le précédent. Après vérification de l'exactitude du montage et du placement, on boulonnait définitivement d'abord les boulons de montage (joints verticaux), puis ceux de placement (joint horizontal).

On arrivait ainsi à réaliser un montage exact et précis. Il fut opéré de cette manière aux Charbonnages des Liégeois et spécialement pour le placement des anneaux des trousses placés tous les 30 mètres environ et destinés à raidir et renforcer le cuvelage.

Fréquemment aussi, on emploie le procédé ordinaire de pose successive des segments sous le dernier anneau placé. Le segment est descendu par un treuil de manoeuvre.

Il est suspendu au câble par des crochets et des chaînes boulonnées. Celles-ci doivent être évidemment démontées lors du placement; aussi ne les utilise-t-on qu'en compagnie de chaînes à crochet. Elles constituent pendant la descente, des attaches de sûreté. Le segment ne peut se détacher quel que soit le heurt ou le mouvement imprimé (1). Les chaînes à crochet sont seules utilisées pendant la manoeuvre dans le fond. On amène alors le segment sous le dernier anneau placé à sa place et on l'y boulotte.

Ce procédé est plus rapide et exige moins de préparation que la méthode exposée plus haut. Elle présente un peu moins d'exactitude et de soin dans le montage d'un anneau.

Généralement, on l'utilise pour le montage des anneaux de cuvelage réservant spécialement le premier procédé pour le montage d'anneaux de renforcement, des trousses, etc.

Le bétonnage se fait après le placement d'un ou de deux ou trois anneaux par injection d'un mélange de ciment et de sable derrière le cuvelage. On établit à la base du dernier anneau un dispositif de sûreté constitué soit par une tôle circulaire, soit par un picotage. L'injection de ciment se fait par des trous laissés pour cet usage dans les pièces de cuvelage. Ces trous sont fermés ultérieurement par des boulons vissés.

Le nombre d'anneaux bétonnés simultanément dépend évidemment de la facilité des terrains congelés à fluer. Si les poussées sont fortes et rapides, on cimentera après la pose de chaque anneau avec un mélange riche en ciment et à prise rapide. Pour la pose du cuvelage sans déformation, on a pris certaines précautions.

(1) Ce mode de suspension est le plus pratique et le plus sûr. C'est celui utilisé pour la descente des pièces de cuvelage dans le puits.

Nous avons déjà cité le montage des anneaux alternativement en sens inverse pour éviter la rotation.

Le centrage des anneaux dans le puits est vérifié par la méthode des trois fils à plomb. Afin d'éviter les moindres dénivellations et erreurs de centrage, on opère un réglage soigné par l'interposition de coins en fer et dans le but de supprimer toute ovalisation des anneaux, on a utilisé, entre autres, à Winterslag, des verins spéciaux les maintenant bien circulairement.

Le béton damé derrière le cuvelage contient environ 300 kilogrammes de ciment au mètre cube. Pour l'injection, c'est un mélange de sable fin et de ciment à 50 % de ciment. Le gâchage se fait avec de la saumure à 15° Beaumé. Ceci dans le but d'empêcher, par suite de la basse température qui règne dans le puits, tout gel du ciment avant sa prise.

* * *

Dans certains cas où, par suite de poussées, on a été contraint à poser le cuvelage assez tôt après le creusement, on a procédé par petites passes avec pose d'un cuvelage suspendu.

Il est évident que pour réaliser ce dernier système, il faut des terrains permettant le creusement de passes de quelques mètres sans entraîner de trop importantes déformations des parois nues.

Aux Charbonnages André Dumont, on a ainsi adopté pour la traversée des assises marneuses du Landenien, du Heersien et du Montien, le système suivant de pose du cuvelage.

On creuse sans revêtement une passe de 7 à 8 mètres. Sur une surface bien arasée, on établit soigneusement une trousse sur laquelle on élève 4 à 5 anneaux de cuvelage, ce montage se fait avec soin. Il reste évidem-

ment un jeu entre le dernier anneau et la trousse de la passe précédente. On fait le joint par de longs boulons (trois ou quatre par segment) que l'on serre énergiquement de manière à soulever l'ensemble de la passe inférieure. On place des boulons définitifs, on picote à la base de la trousse et on injecte le ciment derrière les anneaux.

Aux Charbonnages de Limbourg-Meuse, on a dû, au passage des marnes de Gelinden, opérer le creusement par petites passes. Ces passes ont été de 4^m,50.

Le revêtement comportait un anneau de renforcement de 0^m,50 de haut et de 0^m,40 de large, alors que les anneaux ordinaires n'en avaient que 0^m,20, deux anneaux de 1^m,50 de haut à deux nervures horizontales et un anneau de 1 mètre de haut à une seule nervure.

L'anneau de renforcement jouait le rôle de trousse de base sur laquelle étaient montés les trois anneaux.

Au fur et à mesure du montage, on bétonnait derrière le cuvelage sur 30 centimètres d'épaisseur derrière l'anneau de base et sur 50 centimètres derrière les autres.

La hauteur de creusement était calculée et établie de manière à laisser le jeu minimum entre le sommet de cette passe et la base de la passe précédente. Ce jeu était obstrué par un picotage serré. On réalisait ensuite simultanément l'injection de ciment derrière la pièce de clef et derrière les joints horizontaux. Un anneau métallique noyé dans le béton protégeait le picotage.

Ce système de creusement par petites passes et placement en montant d'un cuvelage reposant sur trousse ou sur des anneaux de renforcement permet ainsi que nous l'avons dit à propos des deux exemples rapportés ci-dessus : un montage soigné et plus rapide, un bétonnage plus serré (dans le second exemple), bref, des

qualités qui manquent au procédé de montage du cuvelage en descendant anneau par anneau.

* * *

Dans le procédé de montage du cuvelage en descendant, il faut évidemment veiller à établir soigneusement et à renforcer les trusses des passes précédentes, auxquelles se suspendra tout le cuvelage à monter.

En général, ces trusses sont renforcées par le placement d'un second anneau soigneusement picoté de manière à créer une adhérence parfaite avec le terrain, reposant en partie sur des banquettes bien établies.

Si la passe à cuveler est relativement grande, on multipliera sur sa hauteur les trusses qui seront picotées et s'appuieront sur le terrain. Il est évident que le bétonnage derrière les anneaux intervient pour alléger en partie les charges des anneaux suspendus en établissant une certaine solidarité avec le terrain.

De même, les anneaux de tête du cuvelage doivent d'une manière tout spéciale être solidement établis et vérifiés, renforcés même s'il y a lieu car, lorsqu'on établit un revêtement provisoire, celui-ci doit être suspendu à ces premiers anneaux.

Ainsi, aux Charbonnages de Helchteren-Zolder, a-t-on, avant même d'entreprendre tout travail de creusement, veiller à consolider la tête du puits. On creusa sous le radier de l'avant-puits à une profondeur de 4^m,50 et on établit trois anneaux de cuvelage rattaché à ce radier et soigneusement contrebouté par un fort bétonnage, de manière à constituer ainsi un énorme et solide massif de résistance auquel pourrait se suspendre tout le revêtement provisoire.

Le matériel nécessaire à la pose du cuvelage comporte évidemment un treuil pour la descente des pièces de cuvelage et un second treuil pour le déplacement du plancher de manoeuvre où travaillent les ouvriers.

Ce plancher mobile peut se caler par verrou contre le cuvelage déjà placé en se fixant sur les nervures.

* * *

Le cuvelage double comporte deux séries d'anneaux disposés concentriquement.

L'écart entre ceux-ci est en moyenne de 40 à 50 centimètres. Dans la plupart des cas et spécialement lors des reprises de congélation à Beeringen et André Dumont, le cuvelage extérieur est placé en descendant, le cuvelage intérieur en montant après pose complète du cuvelage extérieur.

La liaison entre les deux cuvelages est établie par l'interposition d'un béton fortement damé.

La composition de ce béton est en moyenne un tiers de ciment, un tiers de sable, un tiers de gravier. Derrière le cuvelage extérieur, on injecte du béton à un quart de ciment.

La tête de raccord est ordinairement établie (Beeringen, André Dumont) dans une assise imperméable. On se borne à créer alors un massif de béton riche en ciment qui établit une liaison suffisante.

Parfois le raccord (Les Liégeois) est établi par un picotage protégé par un anneau spécial de raccord tronconique.

Les mêmes dispositifs sont réalisés à la base. Parfois les deux cuvelages sont identiques, parfois ils sont différents; les anneaux extérieurs sont de moindre hauteur (1 mètre au lieu de 1^m,50). Lors du montage, on veille

à placer les joints en quinconce de manière à ne jamais être en vis-à-vis.

Aux Charbonnages de Helchteren-Zolder, la jonction de la passe à cuvelage simple avec la passe à cuvelage double se fait par un anneau de forme spéciale.

2. — LES JOINTS DE CUVELAGE.

Les joints constituent l'un des points faibles du cuvelage. Le revêtement idéal dans le cas de nappe aquifère serait une enveloppe métallique continue, irréalisable.

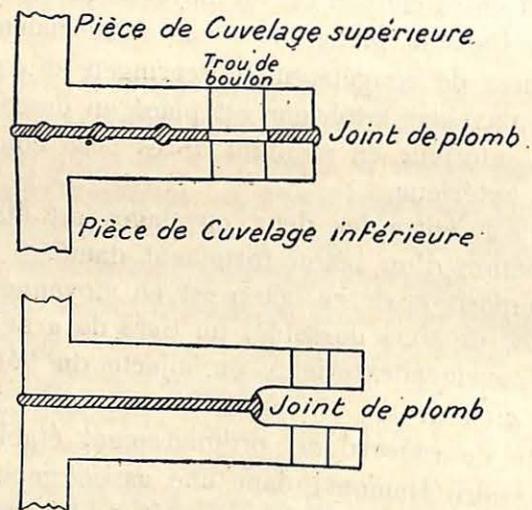


Fig. 10.

L'étanchéité des joints a pu être pratiquement réalisée par l'interposition entre les différents segments de lames plus ou moins épaisses de plomb. Cette substance éminemment plastique s'écrase entre les pièces, se moule au joint et réalise ainsi une quasi continuité dans le revêtement. Mais elle peut se laminer outre mesure et manquer son but, ce qui motive certains dispositifs spéciaux.

Ainsi, notamment à Winterslag, l'adhérence du plomb dans les joints est accentuée par l'existence sur les faces des segments de fines rainures où le plomb se moule. Dans certains puits, les boulons d'assemblage ne traversent pas les feuilles de plomb interposées. Le joint n'existe alors que sur une partie de la largeur des nervures. A l'emplacement des boulons existe un évidement. Ce dispositif donne toute liberté à la lame de plomb pour s'écraser et se mouler. Le serrage du boulon peut être plus fortement poussé sans craindre que le plomb ne flue dans les trous de boulons.

Ce qui achève d'assurer l'étanchéité due aux lames de plomb des joints, c'est le matage.

Cette opération reprise plusieurs fois a réduit notablement les venues d'eau. Le plomb s'étale à la surface extérieure des joints et se moule à toutes les aspérités de la fonte, s'y incruste réellement.

Le dispositif que nous venons de mentionner pour l'emplacement des boulons facilite ce matage. Certains cuvelages ont été dans le même ordre d'idée muni d'un chanfrein de manière à faciliter le matage.

Aux Charbonnages de Limbourg-Meuse on a réalisé un matage extérieur et intérieur qui a donné d'excellents résultats. Le matage extérieur a été exécuté une seule fois avant le bétonnage. Après chaque matage intérieur, les venues d'eau par les joints ont été notablement réduites.

Pour ne citer qu'un chiffre entre autres en notre possession : aux Charbonnages de Limbourg-Meuse, sur 519 mètres de cuvelage, on n'a eu après matage complet de tous les joints que 520 litres de venue horaire.

Nous avons dit un mot plus haut des boulons.

On les munit, à la tête et à l'écrou, de rondelles en

plomb qui, en s'écrasant, jouent le même rôle pour l'étanchéité que le joint de plomb.

Il en est de même pour les boulons destinés à obturer les trous servant à l'injection du ciment.

3. — VERIFICATION DU CUVELAGE.

Au cours de l'avancement des travaux, on procède à diverses vérifications du cuvelage.

Ces opérations comportent :

1° Contrôle des joints et matage de manière à réduire les venues;

2° Vérification des raccords et remplacement ou renforcement en cas de défektivité;

3° Injection de ciment derrière le cuvelage par les orifices réservées dans les segments (trous circulaires de 50 millimètres de diamètre environ);

4° Reserrement des boulons; vérification des rondelles en plomb; remplacement s'il y a lieu;

5° Injection des anneaux de cuvelage. Réparation ou remplacement des pièces avariées.

Une dernière vérification doit être faite avant la décongélation. Il en est de même chaque fois que l'on a été obligé de noyer le puits par suite d'un accident ou de tout autre motif.

Après la décongélation, on inspecte encore le puits. On s'attache alors spécialement à exécuter des matages, des reserremments de boulons destinés à réduire de plus en plus les venues d'eau.

Après la décongélation, on opère parfois une dernière cimentation derrière le cuvelage, destinée à parer aux fissures qui ont pu se faire jour.

4. — REPARATION DES PIÈCES DE CUVELAGE.

L'opération de remplacement de pièces de cuvelage détériorées est toujours une opération délicate, difficile et dangereuse. Elle est impossible après décongélation. Heureusement que, par suite de la plasticité des roches congelées, les poussées se font principalement sentir avant décongélation.

Quand la détérioration n'atteint pas une extrême gravité, on se borne fréquemment à réparer le segment.

On élargit alors à l'outil la fissure en créant un certain chanfrein. On y chasse des lamelles de plomb, mais plus souvent de cuivre, que l'on mate soigneusement. Cette opération réalisée à Winterslag, à Eysden et à Zolder a donné d'excellents résultats. Les pièces de cuvelage ont parfaitement résisté et les fissures matées au cuivre n'ont pas donné de suintement.

Fréquemment, les fissures partent du trou réservé pour l'injection de ciment. Il est impossible de les réparer en ce point en y chassant des lamelles de cuivre. Aussi place-t-on sur le trou boulonné, un chapeau de fer soigneusement et fortement vissé. Une lame de plomb interposée assure l'étanchéité.

ANNEXE AU CHAPITRE X

Revêtement en maçonnerie et béton

Dans les terrains cohérents non aquifères du houiller, on a utilisé comme revêtement un muraillement de briques, de moellons ou de béton suivant les charbonnages. En un seul siège, à Beeringen, on a utilisé à la traversée des morts-terrains pour une passe de crétacé non aquifère en partie et préalablement cimentée par injection, un revêtement en béton.

Revêtement à la traversée des morts terrains à Beeringen.

De 508 à 585 mètres, on avait traversé une passe de craies grises et blanches cimentées et ne donnant aucune venue d'eau, sauf entre 554 et 570 mètres dans des craies friables où la venue avait atteint 600 litres à l'heure.

La congélation avait été arrêtée à 485 mètres et s'était fait sentir jusque 490 mètres. A ce niveau, les terrains cimentés avaient donné une venue de 180 litres à l'heure.

Les conditions dans lesquelles on se trouvait : terrain cimenté pratiquement non aquifère, avaient permis d'envisager le placement d'un revêtement de béton.

Afin d'assurer l'étanchéité de la base du cuvelage, celle-ci avait été établie à 508 mètres. De même, on reprenait la pose du cuvelage à partir de 585 mètres pour la traversée des nappes aquifères de base des morts-terrains.

Un revêtement fut établi au diamètre intérieur de 6^m,60 (mesure de précaution en cas de nécessité de la pose d'un cuvelage). Ce revêtement était constitué par du béton armé avec gabarit en voussoirs de béton dont les dimensions étaient les suivantes : 770 x 250 x 80 millimètres. Le diamètre était au creusement de 7^m,40. On bétonnait derrière ce gabarit de claveaux un remplissage compact et continu. Ce remplissage était armé par une série de barres verticales reliées transversalement entre elles et par des barres horizontales aux anneaux extérieurs saillants des claveaux.

Par poste de 8 heures de 18 à 20 hommes, l'avancement fut de 1^m,50.

Ce revêtement fut établi sur cette hauteur aux deux puits. Comme on atteignait au puits n° 1 la profondeur de 646 mètres, une voie d'eau se déclarait à 544 mètres. La venue atteignait 150 mètres cubes à l'heure.

La genèse de l'accident put être facilement reconstituée à la suite des indications relevées.

Un vieux sondage abandonné mettait en communication l'assise aquifère du tuffeau avec l'assise des craies peu compactes qui donnaient déjà une faible venue d'eau. A la décongélation, les eaux pénétrèrent dans cette assise par le sondage. L'eau était entrée en contact avec le revêtement. La mise sous tension avait été trop forte. Un décollement s'était produit entre la craie et le béton à la hauteur du plan de contact, entre la craie grise compacte et la craie blanche peu résistante. Le revêtement s'était déchiré. L'armature métallique avait retenu les blocs arrachés qui avaient pénétré dans la section utile du puits.

Les 40 centimètres de béton armé n'avaient donc pas constitué un revêtement suffisant pour résister à une pression de 50 atmosphères.

Après sauvetage, on a placé sur toute la hauteur de cette passe un cuvelage en fonte.

L'accident aurait pu se produire également à la suite d'une fissuration résultant du jeu des terrains consécutif à l'exploitation souterraine. Si l'on calcule l'épaisseur du cuvelage en prévision de cette éventualité, on voit que le béton n'a pas une résistance adéquate et que l'emploi de la fonte est indispensable.

* * *

Pour terminer ce chapitre, disons quelques mots des limites d'emploi du béton.

Nous nous baserons sur des faits :

L'accident de Beeringen est un premier fait qui montre l'insuffisance d'un revêtement en béton même pour une passe en morts-terrains cimentés peu aquifères.

Aux Charbonnages de Bois-du-Luc dans le Hainaut, on a utilisé un revêtement en béton comme cuvelage jusqu'à 180 mètres. A cette profondeur, l'épaisseur de béton atteignait 80 centimètres et l'armature était à son maximum.

On saisit les difficultés d'établissement de ce revêtement et les frais supplémentaires entraînés.

On a pu dans certains cas établir à plus grande profondeur un cuvelage en béton d'épaisseur moindre. Ce cuvelage n'est pas calculé pour résister à toute la pression hydrostatique. Les nappes sont captées derrière le cuvelage.

Ce procédé ne donne cependant pas toute satisfaction. L'eau affouille le terrain, provoque des décollements autour du revêtement, désagrège le ciment et met à nu les armatures.

Bref, une installation spéciale exigeant un soin continu et un soutènement qui n'est point exempt de danger et d'insécurité.

A la suite de ces constatations, on peut conclure que si l'utilisation du cuvelage en béton est encore possible pour la traversée de morts-terrains aquifères sur des hauteurs relativement faibles, le cuvelage métallique, nécessaire pour les grandes profondeurs, est dans tous les cas le plus pratique, le plus sûr, le moins onéreux et le plus simple de montage.

Revêtement en terrain cohérent.

En terrain cohérent, le revêtement a été constitué par un muraillement de béton ou de maçonnerie.

Dans ce dernier cas, il a été constitué par une tour d'épaisseur moyenne de 0^m,75 en briques et mortier de ciment. Derrière ce mur et de manière à assurer le contact avec le terrain, on a damé un béton compact.

Aux Charbonnages de Waterschei, le revêtement en terrains compacts fut réalisé en constituant autour du puits un anneau de béton monolithique de 0^m,80 d'épaisseur.

Nous donnons quelques détails sur la méthode d'organisation du travail parce qu'elle est réellement un modèle de soin et d'économie.

Il faut, en effet, que le revêtement soit établi solidement et d'une manière assez continue, que le damage soit parfaitement réalisé, que le coffrage soit continu, résistant et ne donne pas de dénivellation trop accentuée.

Au point de vue économie, il y a à envisager la facilité de pose et de montage du coffrage, le coût de ce coffrage et ses facilités de remploi, l'encombrement réalisé dans le puits, etc.

A ces différents points de vue, on a préféré utiliser un cof-

frage métallique rapide à monter, peu encombrant, de forme régulière et assez résistant pour permettre un remploi répété.

Une série de cercles constitués de fers U de dimensions suivantes 180 x 70 x 8 furent successivement montés tous les 60 centimètres environ. Ces anneaux étaient en six segments assemblés par boulons, ce qui réduisait le nombre de joints et laissait les pièces de maniement facile.

On plaçait à l'extérieur des anneaux, des tôles cintrées. Celles-ci étaient raidies verticalement et circulairement par des fers en L de dimensions 80 x 80 x 8. La cornière inférieure était perforée de manière à pouvoir être fixée sur l'anneau inférieur par des broches qui traversaient les ailes des fers U également perforées.

Ces tôles ne présentaient extérieurement aucune saillie et elles étaient préparées (graissées, etc.) de manière à présenter un minimum d'adhérence au béton. Leur enlèvement était facilité par leurs dimensions assez réduites, 65 ou 80 centimètres. Deux poignées en facilitaient le maniement. Leur poids atteignait moins de 40 kilogrammes, l'épaisseur des tôles était de 5 millimètres. Le bétonnage était exécuté après la pose d'un anneau. La hauteur étant de 65 centimètres seulement, le travail était aisé et soigné. Après 24 heures, on pouvait enlever le coffrage et le réutiliser.

Avec une équipe de 20 ouvriers et manoeuvres, l'avancement réalisé fut de 6 mètres par jour. Le matériel était réduit et de coût peu élevé.

Les ouvriers travaillaient sur un plancher volant. On voit que tout dans cette organisation a été étudié en vue d'améliorer le rendement et le soin :

Coffrage aisé à poser, à manier et rapidement libéré;

Bétonnage sur une faible hauteur, ce qui permet un damage soigné et compact;

Montage et étayage du coffrage peu compliqué, sans embarras et suffisamment résistant.

D'autres puits furent également revêtus en profondeur de béton armé ou de moellons de béton ou encore de claveaux frettés et armés derrière lesquels on établissait un bourrage en béton avec armatures métalliques.

* * *

On attachait un soin spécial à l'aménagement des accrochages. Ceux-ci étaient placés dans un évasement du puits. La pente en

surplomb fut toujours réduite de manière à donner plus de sécurité. Ces raccords en troncs de cône furent spécialement surveillés et renforcés. Même dans les puits murillés en briques, on les établit en béton armé ou en claveaux de béton armé avec derrière un garnissage en béton.

Nous mentionnerons à titre d'indication au point de vue des difficultés que l'on rencontre et des accidents auxquels on est sujet dans le creusement de ces accrochages et pour l'établissement de leur revêtement, l'accident survenu sur la fin de 1920 au puits n° 1 des Charbonnages de Limbourg-Meuse.

A 690 mètres, on avait décidé d'établir un accrochage. Les schistes à ce niveau présentaient de grandes cassures verticales dirigées N.W.-S.E. Les terrains étaient soutenus par un revêtement provisoire, mais par suite de l'inconsistance des terrains, de l'évasement et de la déféctuosité du revêtement provisoire, celui-ci céda bientôt entraînant la chute d'une masse importante de roche.

Le revêtement de maçonnerie avait été arrêté à 666 mètres au diamètre intérieur de 6^m,20, le diamètre de creusement étant de 7^m,50. On avait creusé jusqu'à 685^m,87 à ce diamètre. Après l'éboulement et afin d'en limiter les effets, on avait comblé le puits de 690^m,72 à 684^m,10 avec du sable.

Après avoir régularisé la section du puits et réalisé entre 670 mètres et 684^m,10, un cône à pente assez faible, afin d'obtenir à ce dernier niveau le diamètre de creusement tel qu'il résultait de l'éboulement, on établit sur le sable une trousse en béton fortement armé sur lequel on éleva un muraillement en maçonnerie pour rejoindre la passe précédemment murillée.

Le diamètre intérieur de la trousse était de 7^m,70. On creusa ensuite à nouveau le puits en l'évasant progressivement de manière à atteindre à 690 mètres un diamètre de creusement de 10^m,70, valeur très grande, mais nécessaire à la suite de l'éboulement.

Ce creusement fut réalisé par passes de 2 mètres de haut que l'on revêtit de béton armé immédiatement sur une épaisseur de 60 centimètres. De 690 à 700 mètres, on creusa à parois verticales au diamètre de 9^m,50 avec un soutènement provisoire. Sous 700 mètres, on reprit le diamètre de creusement de 7^m,50.

A l'intérieur de la chambre tronconique ainsi établie, on éleva ensuite le revêtement de la chambre d'accrochage où le puits

avait un diamètre utile de 7^m,50. Ce revêtement était constitué de claveaux de béton fretté derrière lesquels on bétonna.

Cet exemple montre le travail auquel on a été contraint à la suite de cet accident. De ce fait et de quelques autres constatations, il apparaît que dans le placement d'un revêtement en maçonnerie ou béton, il est nécessaire de prendre une série de précautions spéciales lors de l'établissement des accrochages. Ces précautions dépendent de la nature des terrains où l'on se trouve et de leur friabilité. Elles doivent tenir compte de l'inclinaison de l'évasement.

Le béton armé résiste mieux que n'importe quel autre mode de revêtement à ces conditions spéciales.

S'il y a lieu, après avoir veillé à établir une assise ferme pour le revêtement supérieur, on opère par petites passes de creusement immédiatement bétonnées ensuite.

CHAPITRE XI.

TrousSES et raccord de cuvelage

Dans l'étude du cuvelage, il y a deux points de détail importants que nous aborderons séparément : les *trousSES* et surtout les *raccords de cuvelage*.

Les TrouSSes.

Les trouSSes ont principalement pour but de constituer les bases solides des passes de cuvelage. Parfois, elles constituent un renforcement du cuvelage. Elles contribuent à le raidir. Lorsqu'elles sont établies dans des terrains imperméables à la base des nappes aquifères, elles réalisent par leur mode de montage, des bourrages étanches autour du cuvelage, qui rendent indépendantes les diverses nappes. Elles créent entre celles-ci des cloisons qui les empêchent de communiquer entre elles et ainsi d'ajouter parfois leurs effets et de mettre tout le cuvelage sur toute sa hauteur en charge maximum et en contact avec l'eau.

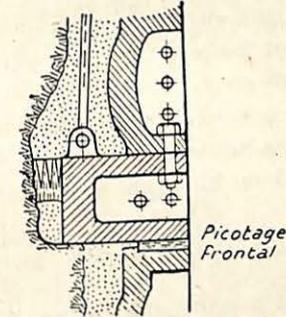
Quelques trouSSes.

Aux Charbonnages André-Dumont, les trouSSes sont constituées par des anneaux de 0^m,50 de haut et 0^m,60 de large, nervurés verticalement et surépaissis.

Ces trouSSes portent extérieurement des anneaux de fonte auxquels s'attache une armature métallique établissant une liaison étroite avec le béton damé derrière le cuvelage.

Aux Charbonnages de Winterslag, les trouSSes ont 0^m,50 de haut et 0^m,35 à 0^m,40 de large. Elles portent une nervure horizontale de 0^m,10 à 0^m,15 et sont renforcées par une série de consoles verticales.

Aux Charbonnages de Beeringen, les trouSSes étaient constituées de deux anneaux superposés ayant respectivement 320 et 350 millimètres de haut, 425 et 500 millimètres de large.



Trousse de Cuvelage employée aux Charbonnages André Dumont

Fig. 11.

On voit donc par ces quelques exemples, que nous ne multiplierons pas, qu'en général, les anneaux des trouSSes sont de faibles hauteurs, larges et solidement renforcés. Parfois, ils sont constitués de manière à former des complexes plus résistants.

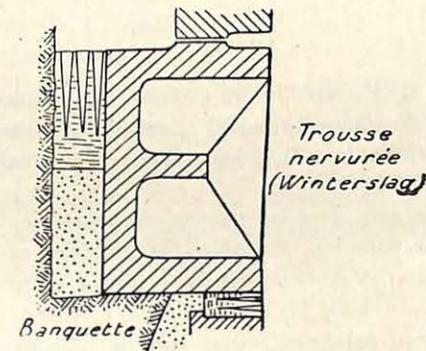


Fig. 12.

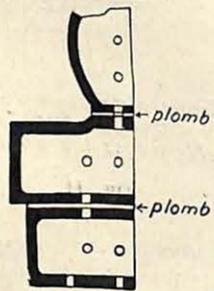
Ces points sont évidemment d'extrême importance pour la base des cuvelages à élever.

Voyons maintenant quelques détails de montage. Ces trouSSes, lorsqu'elles servent de base à une passe, sont établies sur une

banquette bien arasée et de niveau établie sur tout le pourtour du puits. Cette banquette peut être en console au cas où le creusement a été poursuivi plus bas.

Autant que possible, cette banquette est ménagée en terrain résistant. On bétonne ensuite soigneusement derrière le cuvelage et si la trousse est posée en terrain imperméable et ferme, on établit un picotage serré.

Comme exemple, nous citerons les Charbonnages de Winter-slag où derrière les anneaux de trousse de 0^m.50, on a bétonné sur 25 centimètres de haut un mélange riche en ciment, forte-



Trousse à double anneau
(Beerlingen)

Fig. 13.

ment damé et établi sur les 25 centimètres restant un picotage serré de coins de chêne, chassés à refus dans des blocs de bois tendre. L'épaisseur laissée libre derrière l'anneau était de 5 à 6 centimètres.

En cas de terrain peu consistant ou aquifère, le picotage est inutile et même nuisible. En effet, le picotage ne peut être efficace que dans le cas de terrains durs contre lesquels il se produit un écrasement du bois.

En terrain peu cohérent, outre que sa réalisation est difficile, elle est inutile, car le picotage ne tient pas. En terrain congelé, le picotage réussit parce que le terrain est rendu cohérent par suite de la congélation. Mais lors de la décongélation, la masse reprend son état normal et l'eau désagrège le picotage. Celui-ci est nuisible parce qu'il crée une discontinuité dans le béton damé derrière le cuvelage.

Dans l'étude des trusses, il faut particulièrement faire ressortir le soin et l'importance à attacher aux trusses de base du cuvelage. Celles-ci, en effet, doivent constituer un joint parfaitement solide et étanche de la base du cuvelage avec les terrains cohérents et imperméables.

En général, la base des cuvelages est constituée par plusieurs trusses superposées ou alternant avec des anneaux; les picotages sont multipliés, soignés et renforcés par des boucliers métalliques.

C'est à des insuffisances dans l'établissement de ces trusses de base que l'on doit imputer des accidents comme les venues d'eau qui se sont manifestées lors de la décongélation, dans le muraillement exécuté dans le terrain houiller, sous la base du cuvelage au puits de Zolder. L'eau s'infiltrant entre le terrain et le cuvelage a agi sur le revêtement de maçonnerie non calculé pour résister à de tels efforts.

Remarquons, à propos du soin à apporter au placement des trusses, qu'en certains puits on a été amené en divers cas (insuffisance des terrains, etc.) à les placer sur un petit muraillement circulaire. Ceci leur donnait une base plus ferme, bien établie et indéformable.

Cela est important pour le montage subséquent des anneaux parce que les moindres dénivellations, les plus faibles affaissements entraînent de graves conséquences pour le placement des anneaux supérieurs et des raccords.

De même l'injection de ciment dans le terrain, à hauteur de la trousse, a permis de donner plus de résistance au terrain et par suite plus d'efficacité au picotage, la résistance du terrain cimenté étant peu sensible à la décongélation.

Dans le même ordre d'idée que les trousse, nous pouvons considérer l'établissement des raccords des passes à cuvelage simple aux passes à cuvelage double.

On a employé dans certains cas (Les Liégeois, Helchteren-Zolder) des anneaux spéciaux de raccord. Mais c'est là un dispositif coûteux s'il est parfait.

On a réalisé parfois des dispositifs aussi parfaits et moins onéreux.

Nous en citerons un :

Aux Charbonnages André-Dumont, après avoir creusé sur quelques mètres de haut au diamètre extérieur maximum, on établit (495^m,60) une trousse du cuvelage de grand diamètre (7^m,40).

Cette trousse de 36 centimètres de haut fut picotée à refus. Au-dessus on plaça en montant deux anneaux de 0^m,85 de haut qui furent soigneusement bétonnés, matés et injectés de ciment. On plaça ensuite devant ce cuvelage et en descendant, de manière que les joints ne soient pas en vis-à-vis, deux anneaux de 1 mètre de haut au cuvelage de 6 mètres de diamètre. L'intervalle a été ensuite soigneusement bétonné et cimenté.

On a ainsi créé un bouchon de ciment étanche.

Aux Charbonnages de Beeringen, où la liaison avait été établie de même et avec picotage à refus des anneaux supérieurs afin de renforcer encore l'étanchéité, le raccord de base fut établi de la manière suivante :

La trousse de base du cuvelage double avait été établie avec soin, bétonnée et picotée à 634^m,50 dans le bon terrain. Vis-à-vis de cette trousse, on établit une banquette de béton circulaire armée de tôles métalliques placées à plat et sur laquelle on éleva le cuvelage intérieur. L'espace intermédiaire fut bétonné.

Le cuvelage simple fut prolongé et la trousse de base fut posée à 644 mètres.

Ces dispositifs sont simples, rapidement montés. Ils n'exigent aucune construction spéciale et ils sont efficaces.

Les raccords de cuvelage.

Lors de la mise en place des cuvelages de différentes passes, une question importante se pose : c'est celle des raccords des différentes passes.

Le procédé habituellement employé consistait à placer à la tête de la passe cuvelée un anneau spécial de raccord dont les dimensions étaient telles qu'il obturait le mieux possible l'espace laissé vide entre le dernier anneau et la trousse supérieure. On bétonnait derrière cet anneau comme derrière les autres anneaux de cuvelage, mais en opérant à mesure que les différents segments étaient placés, par pilonnage latéral ; le dernier segment placé et boulonné, on injectait derrière celui-ci par une ouverture ad hoc un lait dense de ciment. L'interstice entre cet anneau et la trousse supérieure était ensuite picoté à refus de manière à assurer une étanchéité parfaite. Les autres joints subissaient un matage des feuilles de plomb interposées.

Il en était de même lorsque l'espace libre entre le dernier anneau et la trousse se réduisait à quelques centimètres. Après cimentage, on introduisait des coins de bois tendre que l'on picotait à refus.

A l'époque des fonçages de puits en Campine, on eut à enregistrer un assez grave accident au puits de Saint-Vaast à La Louvière. Un segment d'un anneau de raccord picoté comme il vient d'être dit, s'est brisé deux

ans après le fonçage et alors que la mine était en exploitation. Ce joint avait été fait dans les sables congelés et on suppose qu'après dégel, la trousse étant mal appuyée s'est dénivelée et a exercé un effort oblique sur l'anneau de joint dont la pièce faible a sauté. Cet accident a amené les fonceurs de puits en Campine à étudier des dispositifs de protection et de renfort des joints picotés.

Nous allons en donner quelques exemples :

Aux Charbonnages de Beeringen.

Au-dessus de 200 mètres, certains raccords s'étant montrés défectueux, on leur substitua une roue en fonte en plusieurs segments à joints matés au plomb et raccordés par boulons aux anneaux voisins.

Sous 200 mètres, on a élargi le diamètre de creusement et on a suspendu à la trousse inférieure dont les dimensions étaient de 620 x 350, un cuvelage double comportant : à l'extérieur, deux anneaux lisses de 40 millimètres d'épaisseur au diamètre de 6^m,65 et, à l'intérieur, un anneau lisse de 40 millimètres et de 5^m,80 de diamètre utile surmontant le cuvelage inférieur par un joint au plomb boulonné comme à l'ordinaire.

Les anneaux extérieurs nervurés étaient noyés dans le béton, le joint entre l'anneau au diamètre de 5^m,80 et la trousse étaient matés au plomb. Son épaisseur était de 6 à 20 millimètres.

Le même dispositif (1) a été également utilisé au puits n° 2, mais l'espace entre les anneaux intérieurs de petit diamètre et la trousse a été rendu étanche par un picotage.

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. XX (année 1919), pp. 1188 et 1192.

On trouvera le détail de ces raccords dans les monographies annexées.

Certains picotages ont été protégés par un béton établi derrière le cuvelage et armé de treillis métalliques. Il semble que ce dispositif se soit montré meilleur au point de vue protection du picotage que la simple injection de ciment derrière le cuvelage.

Aux Charbonnages de Limbourg-Meuse.

Le problème fut posé ici dès le montage du cuvelage. Aussi prenons-nous cette réalisation comme exemple de l'aménagement et du renforcement des raccords dans le montage même du cuvelage.

Les résultats obtenus démontrent la réussite des systèmes employés.

Jusqu'à 250 mètres, on a adopté le système connu des brides de raccord en queue d'aronde avec des coins placés le gros bout vers le terrain, ce qui assure plus de tenue au picotage.

De 250 à 400 mètres, on a mis en plus des couvre-joints. Ceux-ci sont des anneaux en fer plat constitués de plusieurs segments vissés sur le cuvelage et masquant partiellement le picotage. Ces anneaux peuvent être enlevés pour la réparation du picotage. Celui-ci peut être surveillé lors des visites du puits. Il est en partie découvert.

Sous 400 mètres, les poussées devenant plus considérables, il devenait nécessaire de soustraire le plus possible le joint à leurs effets.

On a élargi le diamètre de creusement et on a placé à cheval sur le joint un anneau de cuvelage de grand diamètre, picoté s'il y a lieu contre le terrain. Le béton

damé entre cet anneau et le cuvelage a été armé par un treillis de barres de fer. Le picotage a toujours été muni de son couvre-joint.

Charbonnages de Helchteren-Zolder.

Les joints sont protégés par un anneau de cuvelage en acier coulé, placé contre le terrain et noyé dans le béton. Le raccord se fait par picotage, non pas sous la trousse, mais entre le premier et le deuxième anneau de la passe inférieure. On a observé que le picotage sous la trousse fait naître dans la bride, en raison de sa grande largeur, des tensions dangereuses. On emploie les coins en queue d'aronde.

* * *

Résumons les constatations et conclusions que l'on peut tirer des faits vus en Campine.

L'établissement d'un joint étanche au raccord de passes de cuvelage paraît n'être bien réalisé et facilement obtenu que par l'emploi du picotage à refus. L'emploi d'anneaux spéciaux exige un montage difficile et il en résulte toujours des imperfections dans l'étanchéité des joints. Le matage du plomb dans des joints de quelque importance se révèle défectueux. Aussi ceux qui ont tenté ce dernier mode sont-ils rapidement revenus à l'emploi du picotage.

Le picotage néanmoins laisse subsister un certain risque : à la longue, comme tout ouvrage en bois, il perd de sa résistance et peut céder sous de trop fortes pressions hydrostatiques et plus spécialement sous les poussées des terrains.

En ce qui concerne la résistance aux pressions hydrostatiques, le picotage à refus dans un joint ménagé en

queue d'aronde avec pose d'un couvre-joint en fer, combiné à une surveillance régulière, donne d'excellents résultats même à des pressions hydrostatiques élevées : le picotage est étanche; l'arrachement et la projection de picots sont rendus difficiles par la forme du joint et la présence du couvre-joint. On devra soigneusement veiller au maintien de l'étanchéité.

Le picotage peut s'ouvrir si la poussée des terrains amène une déformation ou ovalisation du cuvelage. Le simple béton est insuffisant comme remède. Il faut poser un anneau de cuvelage de protection soit à cheval sur le joint, soit suspendu à l'anneau de trousse.

C'est, en somme, une petite passe de cuvelage double de part et d'autre du joint. Elle équivaut à l'empatement ou au rouet de pierre de taille que l'on met à la base des passes de maçonnerie, elle renforce considérablement la résistance à la flexion et sous le rapport de l'étanchéité, elle joue le rôle des joints contournés.

CHAPITRE XII.

Revêtement provisoire

Une des questions secondaires, mais encore très importante dans le soutènement des terrains, est leur mode de revêtement pendant le creusement. Cette question a été fortement controversée.

M. Zaeringer, un des grands spécialistes de fonçage de puits spécialement par congélation, résumait en 1910 son opinion sur l'emploi des soutènements provisoires, de la manière suivante :

Il est insuffisant pour prémunir contre une irruption imprévue de sables mouvants (c'était le cas généralement étudié).

La chute du revêtement provoquée par quelque cause que ce soit (dégel, manque de consistance du terrain, etc.) est préjudiciable par suite des graves conséquences qu'elle entraîne pour le personnel occupé à l'avaleresse.

Le revêtement provisoire masquant le terrain rend impossible l'observation des parois où certains indices peuvent révéler une mauvaise tenue des terrains ou de la congélation, prévenir d'un accident imminent ou encore permettre de le conjurer.

M. Zaeringer dans d'autres lettres confirmait encore ces conclusions.

L'administration des mines allemandes maintenait l'obligation du revêtement provisoire. Elle le justifiait comme un mode de soutènement des terrains qui empêchait leur déformation, affaissement, poussée, etc. et comme un élément de sécurité contre la chute de blocs peu adhérents au muraillement.

Au début de la période de forage des puits en Campine, M. Breyre, attaché au service administratif des accidents au Corps des mines de Belgique, étudiant le mode de fonçage, opposait à la rigueur des arguments de M. Zaeringer, les remarques suivantes :

Pour résister à des venues de sables, seule la pose du cuvelage en descendant est un moyen efficace. Il est nécessaire de procéder alors de cette façon. Par suite ce n'est pas là un des buts du montage d'un revêtement provisoire. Le but primordial est celui reconnu par le service des mines d'Allemagne : la prévention de la chute de blocs de terre, rendus cohérents et durs par la congélation, but d'autant plus important que la hauteur des passes est grande.

Mais, s'empressait-il d'ajouter, il faut établir une discrimination entre les différents terrains.

Un terrain grenu saturé d'eau (sable ou craie) n'exige pas de revêtement parce qu'il prend extrêmement bien la congélation et que, par suite de la cohésion de la masse, le maintien en parois verticales et compactes est parfaitement réalisé par la congélation.

Un terrain compact, imperméable, fissuré (argile, craie, marne) sans eau exige par contre un soutènement.

Divers exemples tirés de travaux entrepris en Belgique confirmaient ce raisonnement et démontraient par expérience la sécurité en certains terrains du creusement sans soutènement.

Le seul argument prépondérant et favorable à la suppression de tout revêtement préalable consistait dans le fait de la surveillance possible des parois. M. Breyre préconisait à ce titre, spécialement en ce qui concerne les ruptures de tubes congélateurs, le placement sur les circuits d'appareils indicateurs des perturbations et les localisant.

L'emploi de ces appareils ne paraissait pas encore donner toute satisfaction.

* * *

Tels étaient les principaux avis au début du travail entrepris. Des points restaient en discussion ou en suspens. Les résultats des travaux de Campine apportent-ils des éléments nouveaux dans ce débat?

1° Selon les conclusions de M. Breyre, l'emploi du soutènement dépend des conditions même des terrains traversés et peut en certains cas être supprimé.

En Campine, la traversée des terrains sableux et calcaires fortement aquifères, des terrains cimentés, de certaines intercalations résistantes et compactes a pu être réalisée sans aucun danger, sans revêtement. Les terrains cimentés par la glace ou le ciment injecté se maintenaient excellemment. Il n'y a eu aucun accident.

2°) L'emploi d'un soutènement est-il utile dans tous les cas?

En certains cas, il peut être nuisible et superflu par suite de son impuissance. C'est principalement le cas dans la traversée des terrains sujets à d'importantes poussées et dans le cas de terrains congelés se déformant par suite de la charge trop élevée qui s'exerce sur l'anneau de glace.

Sous l'action de la poussée des terrains, les revêtements provisoires ne peuvent tenir. Les étais se brisent, les anneaux se disloquent et s'écrasent. Les accidents survenus montrent suffisamment que le revêtement même le plus soigné est impuissant pour résister à ces poussées. Bien mieux, il se produit un calage tellement énergique des pièces que celles-ci ne peuvent plus être démontées. Il faut les débiter au chalumeau, les abandonner totalement ou partiellement s'il est possible dans

le béton derrière le cuvelage, creuser à un diamètre plus grand. Toutes opérations onéreuses, lentes et dangereuses.

Les mêmes conséquences se produiraient dans le cas des poussées en terrains congelés. Dans ce cas, il est de plus très utile pour leur résistance propre de laisser la hauteur à découvert réduite au minimum.

Ces faits et ces raisonnements amènent à conseiller dans ces cas la pose du cuvelage en descendant.

3°) Dans des cas de terrains fissurés, écailleux, sujets à des chutes de blocs des parois, il est utile de placer un revêtement. Celui-ci doit être particulièrement soigné, spécialement en ce qui concerne les anneaux, leur montage et le dispositif des organes de suspension, surtout quand le creusement se fait en élargissant le diamètre. Il sera parfois nécessaire de creuser avec pose de revêtement par petites passes successives.

4°) Comme le soutenait M. Zaeringer et comme on a pu le remarquer, il est utile de travailler sans revêtement afin de pouvoir surveiller l'état des parois.

Les appareils de contrôle des circuits de congélation ont été utiles, mais sans grand succès. Les indications visibles sur les parois sont plus nettes, plus rapides, moins délicates. De plus, elles peuvent donner des indications relativement à d'autres perturbations que celles de la congélation.

Ainsi, dans le cas de brusque poussée de terrain et d'irruption de sable, les indices apparaîtront sur les parois assez tôt pour garantir la sécurité et le sauvetage du personnel.

5°) On est amené à constater également qu'il ne faut pas creuser de trop grandes passes sans revêtement puisque l'on s'expose à une ovalisation ou à un rétrécissement du puits.

Cela est important également sous le point de vue de la gravité des conséquences d'un accident. Les parois nues sont dangereuses parce qu'elles peuvent être affouillées et attaquées par les eaux. Le montage d'un revêtement provisoire est un paillatif trop insuffisant. Si l'on doit combler avec du sable la passe non cuvelée, l'existence d'un revêtement provisoire éboulé complique les opérations de reprise.

Il faut donc laisser le moins de terrain exposé en parois nues de crainte de leur danger en cas d'accident par venues d'eau.

6°) Pour protéger les ouvrages de l'avaleresse contre la chute de glaçons ou d'autres objets tombant de la paroi du puits, on installe des planchers annulaires, soit fixés sur des traverses encastrées dans le terrain ou appuyées sur les bords de la dernière passe de cuvelage, soit suspendus par des chaînes ou câbles et suivant le creusement.

Maintenant que nous avons résumé l'expérience des douze fonçages de Campine, il nous reste à porter une conclusion générale.

Nous la formulons ainsi :

1°) Les passes creusées sans soutènement, c'est-à-dire sans pose du cuvelage ne seront pas de hauteur exagérée;

2°) Dans le cas de terrains sujets à fortes poussées, on placera le cuvelage en descendant.

Réalisation du soutènement.

Le soutènement provisoire est constitué par des madriers joints calés entre le terrain et des anneaux métalliques montés au fur et à mesure du creusement.

Ces anneaux sont constitués de fers U cintrés, réunis par des couvre-joints également en fers U. Le mode d'assemblage se fait ordinairement par boulons ou broches.

Les anneaux sont suspendus les uns aux autres par des crochets métalliques en S.

Lorsqu'il y a évasement, ces crochets sont établis de manière à permettre cet évasement. Ce système s'est montré défectueux. On a préféré y substituer un assemblage constitué de manchons vissés sur des pattes de soutien.

La distance entre deux anneaux successifs est environ de 1 mètre à 1^m,20. Le système complet est suspendu au dernier anneau de cuvelage monté.

Les pièces sont calculées pour résister aux efforts que l'on envisage. Les tiges de suspension sont spécialement établies pour soutenir le poids de tout le revêtement.

Les cercles métalliques sont parfois renforcés par le placement de traverses étayées. En cas de poussée de terrain, il est inutile d'en multiplier le nombre pour renforcer le revêtement. Ces traverses flambent et se brisent sous la poussée.

(A suivre.)