

On ne doit donc pas s'écarter de cette limite qui, pratiquement, marque la combustion complète avec minimum de pertes par la cheminée.

Les résultats d'analyse des gaz de gazogènes et d'éclairage, quoique obtenus sur des charbons de composition chimique différente des charbons demi-gras indigènes (voir Le Chatelier : Leçons sur le carbone, Paris 1908 et Le chauffage industriel, Paris 1920), n'établissent aucune discordance avec les déductions qui précèdent.

Pour l'objet de cette étude, il convient de retenir qu'il faut déterminer la limite de combustibilité d'un charbon de grille dans les conditions mêmes de l'emploi de ce charbon.

Le chapitre suivant pose les principes de cette détermination et donne quelques résultats d'expériences faites en application de ces principes.

(A suivre).

Aveuglement d'une voie d'eau

DANS UN Puits, A 554 MÈTRES DE PROFONDEUR,
au moyen de la cimentation
pratiquée à niveau plein par l'intérieur du puits

PAR

M. LOUIS SAUVESTRE

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

Administrateur-Directeur de la Société des Charbonnages de Beeringen.

Le puits n° 1 du premier siège de la société de Beeringen avait atteint la profondeur de 646 mètres et avait ainsi pénétré de 22 mètres dans le terrain houiller.

Ce puits avait été creusé par le procédé de la congélation sur les 485 premiers mètres; il avait été cuvelé jusqu'à 508 mètres, puis creusé à niveau vide de 508 à 585 mètres sans rencontrer d'eau, sauf toutefois de 554 à 570 mètres, dans la craie blanche, laquelle donna une venue insignifiante de 600 litres-heure. Mais cette craie blanche était tendre, sans grande consistance. Cette partie du puits, comprise entre 508 et 585 mètres avait été murillée. Enfin, de 585 à 640 mètres on avait passé par une reprise de congélation (1).

La trousse de base ayant été placée à 646 mètres, alors qu'on reprenait le creusement dans le houiller, une voie d'eau se déclarait à 554 mètres, crevant un pan de maçonnerie et donnant un débit de 150 mètres cubes-heure. (Voir le diagramme des débits mesurés au fur et à mesure de l'ascension de l'eau dans le puits. Planche I.)

Origine de l'eau. — Nous fûmes fixés immédiatement sur l'origine de l'eau. En effet, les eaux du crétacé qui sont surtout abondantes dans l'assise du tufeau (376-450) sont jaillissantes et nous avons utilisé leur niveau piézométrique élevé pour alimenter en eau potable les maisons de notre personnel. Dès que la rupture se fut produite dans le puits, toutes les habitations furent privées d'eau et nous pûmes suivre l'abaissement du niveau piézométrique dans un son-

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*. Tome XXI (année 1920), 1^{re} liv.

Charbonnages de Beeringen

Épuisement du Puits N°1

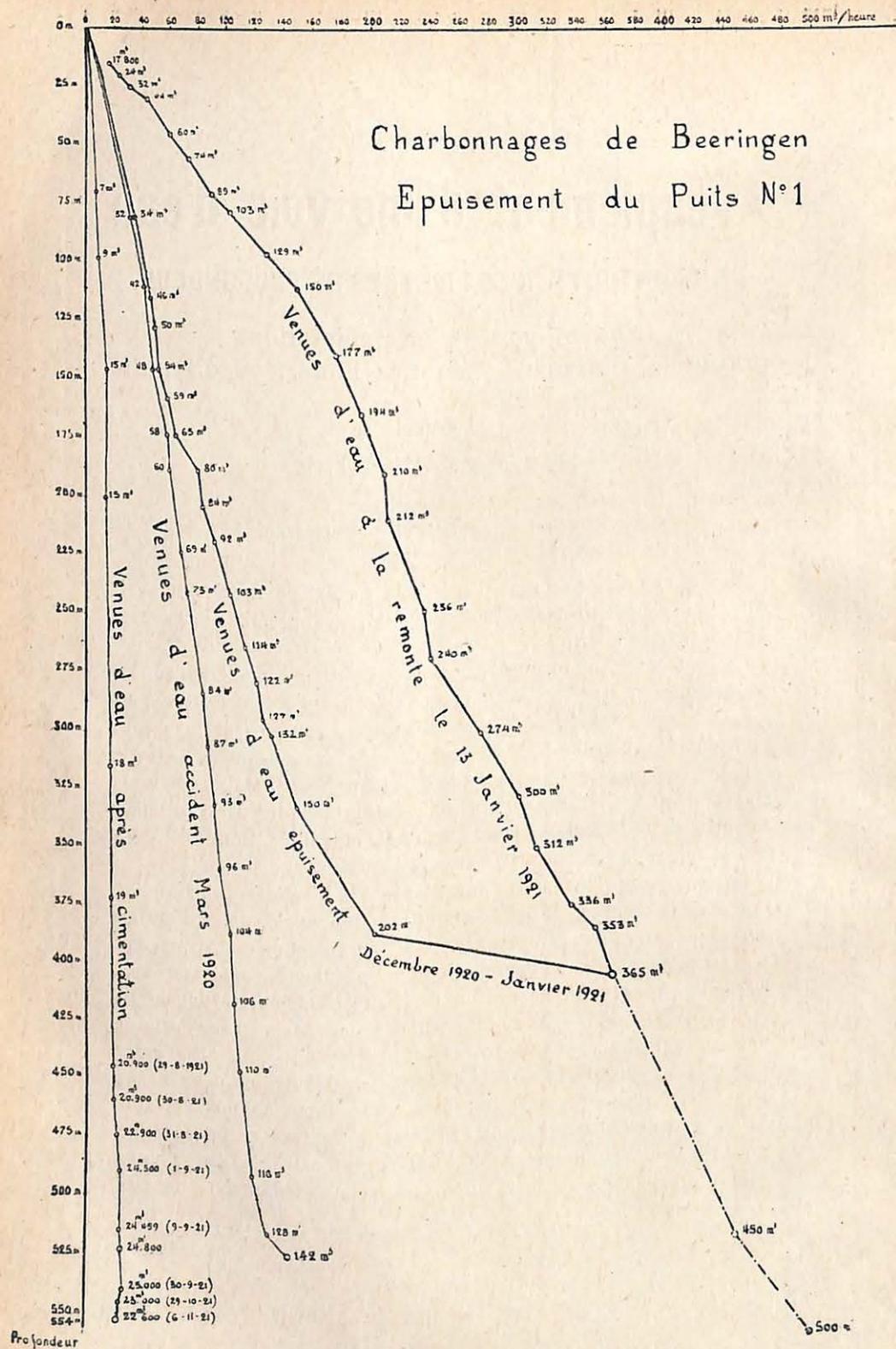


PLANCHE I.

dage voisin situé à 180 mètres de l'axe du puits, puis la remonte progressive de ce niveau au fur et à mesure de la montée des eaux dans le puits.

Mais quel chemin l'eau du tufeau avait-elle suivi de 450 à 554 mètres ?

Comme je l'ai dit plus haut, le puits avait été creusé sans rencontrer d'eau de 508 à 585 et il est bien difficile d'admettre qu'avec une section de 8 mètres au creusement nous n'ayons décelé, dans aucun des deux puits, la moindre fissure si le terrain avait été fissuré.

C'est un vieux sondage qui nous a mis en communication directe avec le niveau aquifère du tufeau. (Planche II.)

Avant d'entreprendre le creusement du puits, en effet, on avait fait, de la surface, 10 sondages tout autour de l'emplacement projeté du puits, sondages poussés à 625 mètres de profondeur, c'est-à-dire jusqu'au houiller. Par ces sondages, nous essayâmes de pratiquer la cimentation, mais celle-ci ne donna aucun résultat car l'eau passait par porosité dans la roche, laquelle jouait le rôle de filtre et retenait le ciment, de sorte que nous n'aboutissions qu'à un seul résultat, celui de caler les tiges d'injection dans les trous.

Nous parvînmes à retirer neuf tiges de cimentation, ce qui permit de remplir de ciment les neuf trous correspondants jusqu'à 485 mètres. Dans le dixième trou, on ne réussit à dégager la tige que jusqu'à 414 mètres; depuis cette profondeur le trou fut continué en déviation jusqu'à 485 mètres. Il restait donc un vieux trou de 414 mètres jusque dans le houiller, trou dont on ignorait l'état et qui était partiellement ouvert. Tant que ce trou fut congelé, nous pûmes travailler à l'abri de l'eau. C'est le jour même où la décongélation eut lieu, que l'accident se produisit. L'eau du tufeau fut mise en communication avec la craie blanche peu consistante, la maçonnerie fut mise sous pression et craqua.

Essai d'épuisement. — La venue constatée était de 150 mètres cubes à l'heure. Nous avions à notre disposition des pompes verticales centrifuges électriques capables d'épuiser 250 mètres cubes à l'heure à la profondeur de 300 mètres.

Dans le puits se trouvaient deux colonnes de 235^m/m-215^m/m, qui avaient servi pour la reprise de congélation. Nous nous servîmes de ces tuyauteries pour le refoulement. Le refoulement de la pompe était alternativement connecté sur chacune des tuyauteries par l'intermédiaire d'un tube télescopique qui nous permettait de faire des courses de 15 mètres à chaque connexion.

Nous arrivâmes sans difficulté à 300 mètres où nous établîmes, dans le puits, un réservoir servant d'aspiration à la première pompe, immobilisée à cette profondeur; nous descendîmes avec la seconde pompe qui refoulait dans le bac d'aspiration de la première.

Pour rendre le service du personnel plus commode et pour accroître la sécurité, nous avons placé sur le plan d'eau un radeau qui couvrait toute la surface du puits.

Au fur et à mesure que nous descendions, nous notions que la venue était plus élevée que lors de la noyade du puits. Cet écart augmentait considérablement en descendant; à la profondeur de 384 mètres la venue d'eau passa brusquement de 202 mètres cubes-heure à 365 mètres cubes-heure. (Voir diagramme des venues d'eau, Planche I). Nous n'eûmes que le temps de remonter les pompes et notre radeau fut abandonné à 300 mètres sous le plancher réservoir.

Il n'y avait donc plus à compter sur le pompage; il fallait trouver un moyen de réduire la venue.

L'eau du tufeau pénétrait dans le puits à 554 mètres et, par suite du niveau piézométrique élevé de cette nappe, le puits débitait à l'orifice.

Nous eûmes alors l'idée d'utiliser ce courant pour cimenter la brèche. Si l'on fermait l'orifice du puits et qu'on y refoulât de l'eau, le courant s'établirait en sens inverse, l'eau du puits remonterait dans le tufeau. Si cette eau était amenée par une tuyauterie traversant un bouchon fait à la tête du puits et que son extrémité inférieure se trouvât au niveau de la brèche, l'eau refoulée par la tuyauterie passerait immédiatement dans la brèche, et si, dans cette eau, on mettait du ciment en suspension, le ciment serait transporté jusqu'à la source, c'est-à-dire dans le tufeau.

Expériences de laboratoire

1^{re} série. — Afin de nous rendre compte de la façon dont nous pourrions boucher un trou dans le tufeau, nous avons fait faire un petit appareil (Planche III). Il se compose d'un récipient en verre de 75 m/m de diamètre et de 1^m,25 de hauteur, fermé à sa partie supérieure par un couvercle laissant passer un tube de 11 m/m de diamètre. Dans le corps du récipient est fixée une tubulure à angle droit, mettant l'eau de ce réservoir en communication avec une carotte de tufeau évidée à l'intérieur.

APPAREIL DÉMONSTRATIF

du bouchage, par injection de ciment,
d'un trou creusé dans le tufeau.

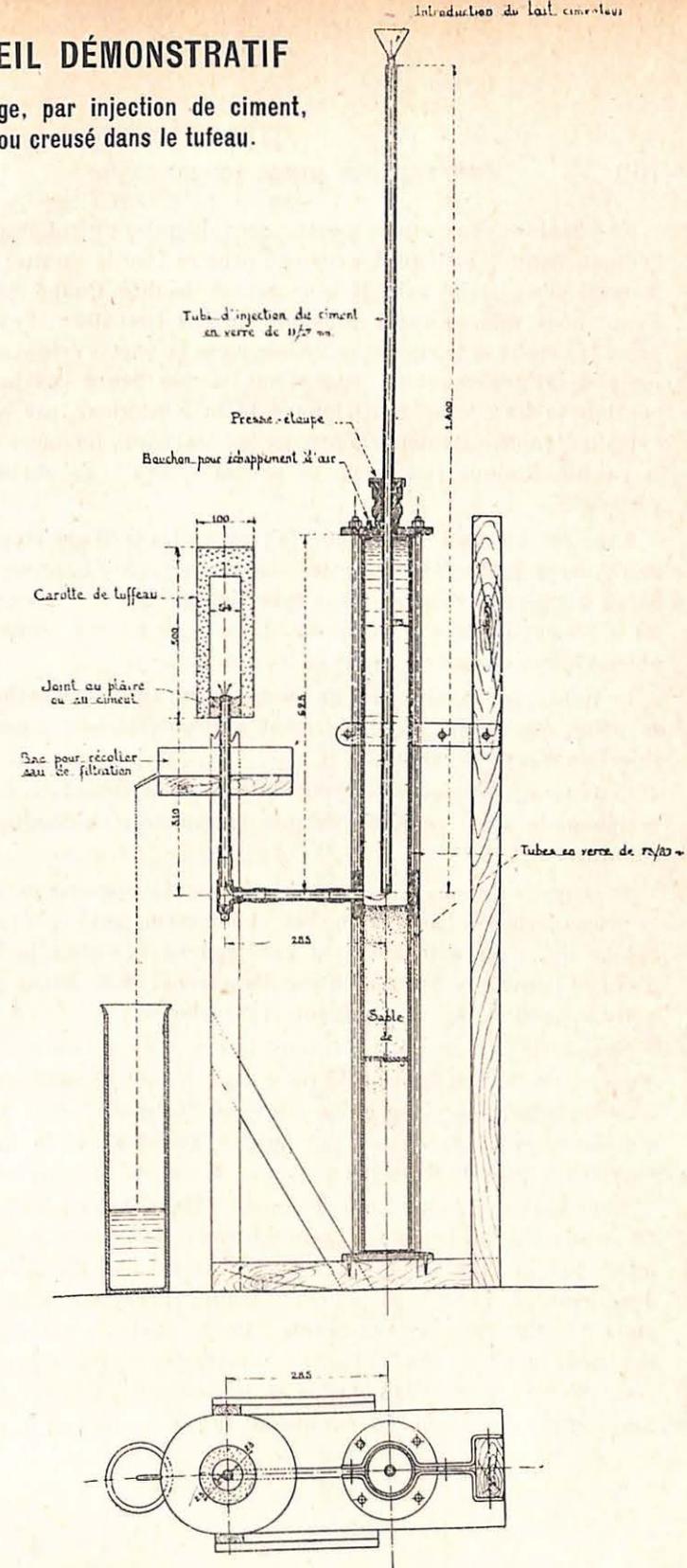


PLANCHE III.

En jetant les yeux sur le dessin, on voit qu'en vidant l'eau par l'entonnoir qui y est figuré, cette eau pénètre dans la carotte; elle la traverse par porosité avec la plus grande facilité. Quand, au lieu d'eau, nous versons par l'entonnoir un lait cimenteux, l'eau traverse la carotte et le ciment se dépose dans la partie évidée qui est remplie intégralement au bout d'une demie heure environ. On constate la fin de l'opération quand le tube intérieur, par où l'on verse le liquide cimenteux, refuse toute absorption. En même temps, la carotte diminue peu à peu de porosité jusqu'à s'assécher complètement.

Avec cet appareil, nous avons fait varier les positions respectives de l'ajutage et de l'extrémité inférieure du tube d'injection. Nous avons fait dégorger également le tube d'injection sous une couche de 20 à 30 centimètres de cailloux. Dans tous les cas, nous avons obtenu le remplissage intégral de la carotte.

Le tufeau agit réellement par succion et un trou dans cette roche se prête, par suite, admirablement à être rempli de ciment par injection d'eau cimenteuse.

Cette série d'expériences a été faite en remplissant le fond du récipient de sable jusqu'à quelques centimètres en-dessous de la tubulure.

2^e série. — Comme nous ne savions pas dans quel état se trouvait la maçonnerie de 554 à 585 mètres, et comme en dessous de la grosse brèche que nous avons vue et par laquelle s'écoulait le torrent d'eau, il pouvait y avoir d'autres déchirures, nous avons modifié notre appareil de la façon suivante. (Planche IV.)

Nous avons adapté à notre tube-récipient deux tubulures au lieu d'une. Tout le tube figurant le puits était rempli de cailloux entre les deux tubulures. Nous avons placé notre tube d'injection de façon que son extrémité inférieure soit un peu au-dessus de la tubulure supérieure qui est elle-même un peu au-dessus du lit de cailloux.

Nous coulions alors un lait de ciment à 20 %. Nous notions qu'en 30 secondes le lait cimenteux ayant traversé la couche de cailloux monte par la tubulure inférieure dans la carotte. Au bout d'une demi-heure, la porosité de la carotte a diminué des $\frac{3}{4}$, mais il faut alors 2 heures pour arriver au refus. Pendant cette dernière période, le ciment se dépose dans la couche de cailloux, se tasse peu à peu, si bien qu'en fin d'opération tous les vides compris entre les cailloux sont remplis de ciment. La carotte de tufeau se remplit intégrale-

APPAREIL DÉMONSTRATIF du bouchage, par injection de ciment, d'un trou creusé dans le tufeau.

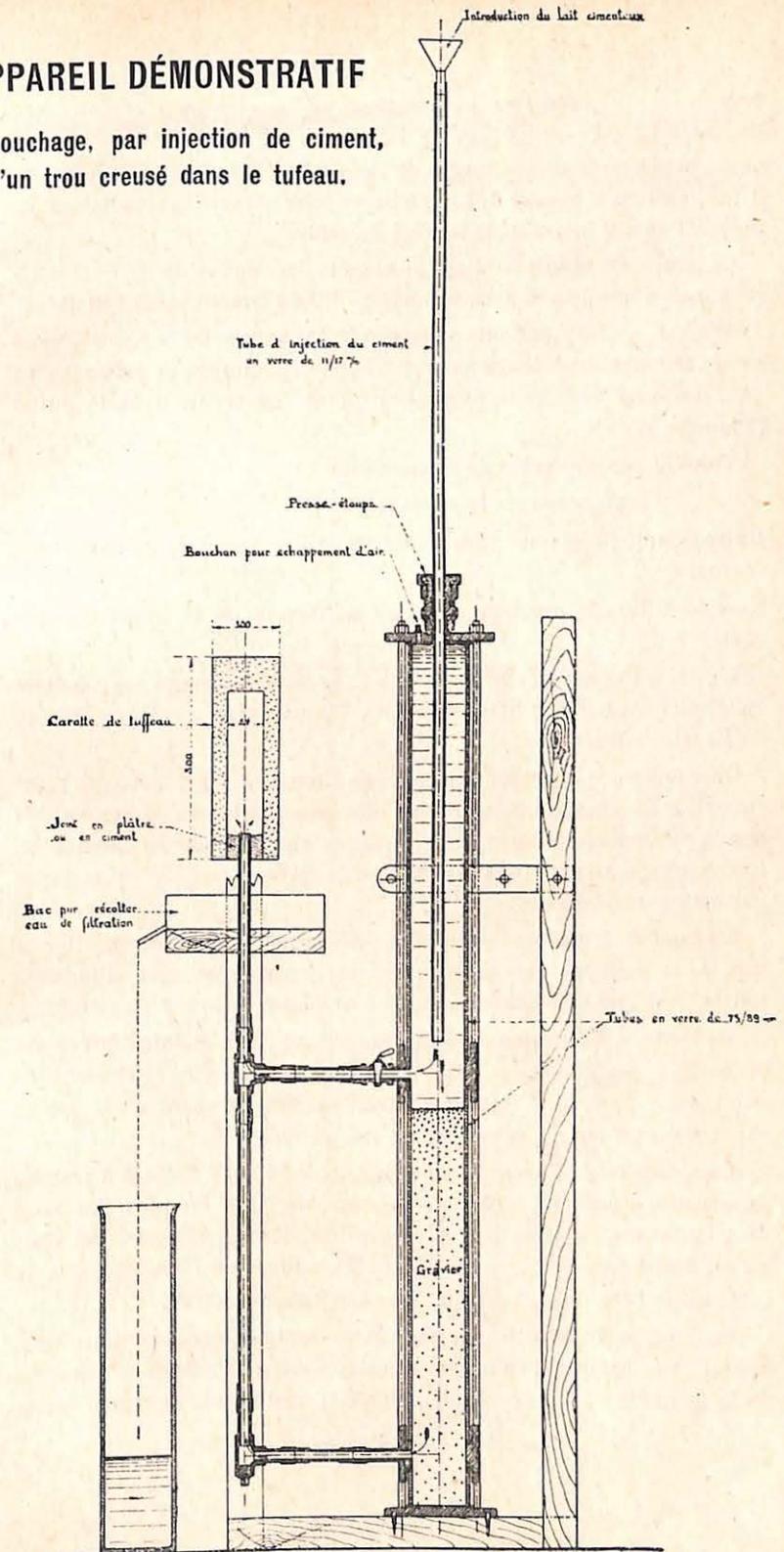


PLANCHE IV.

ment, mais, je le répète, la fin de l'opération est plus lente à venir ; il faut en tout 2 heures 1/2 à 3 heures pour obtenir le résultat qu'on obtenait en 1/2 heure avec le fond de sable.

Ce temps est réduit si l'on augmente la densité du lait. Il n'est plus que d'une heure avec un lait de 50 de ciment pour 100 d'eau.

3^e série. — Afin de nous rapprocher davantage de la réalité, nous avons fait une expérience avec un appareil donnant la réduction au 1/30 des conditions dans lesquelles on se trouverait dans le puits. (Planche V.)

Voici le procès-verbal de l'expérience :

Le montage est le suivant :

Puits rempli de gravier jusqu'à 0^m,10 en-dessous de la cassure supérieure.

Base de la tige d'injection à 0^m,10 au-dessus de la cassure supérieure.

L'essai à l'eau claire indique que la carotte de tufeu, de 2 mètres de longueur, débite 2 litres d'eau en 70 secondes pour une charge de 1 mètre environ.

On commence à couler un lait de ciment à 50 % à 15 h. 1. Le ciment arrive instantanément aux cassures. On le voit passer d'abord par la cassure supérieure, puis, presque aussitôt par la cassure du bas et, en dernier lieu, par la cassure du milieu. Le débit est moindre par cette dernière cassure.

Au bout de 3 minutes le débit par la cassure inférieure est presque nul. A ce moment, les deux cassures supérieures sont alimentées toutes deux, mais le débit est supérieur par la cassure du milieu.

Au bout de 4 minutes, le tube horizontal de la cassure inférieure se bouche complètement. Le tube supérieur cesse également de débiter au bout de 7 minutes. Tout le ciment passe alors par la cassure du milieu où la vitesse est très grande.

Au sommet de la tour, le tube de retour de l'eau filtrant à travers la carotte, donne un débit décroissant de plus en plus. Au bout de 16 minutes, ce débit n'est plus que de 1 litre en 145 secondes alors qu'au début de l'essai, ce débit était de 2 litres en 70 secondes. A ce moment le tube d'équilibre indique 4 mètres de charge.

Au bout de 24 minutes la section de passage dans le conduit horizontal de la cassure du milieu est réduite considérablement par suite de la formation d'un dépôt de ciment. Il reste un petit canal où la

Appareil démonstratif du bouchage, par injection de ciment, d'un trou creusé dans le tufeu.

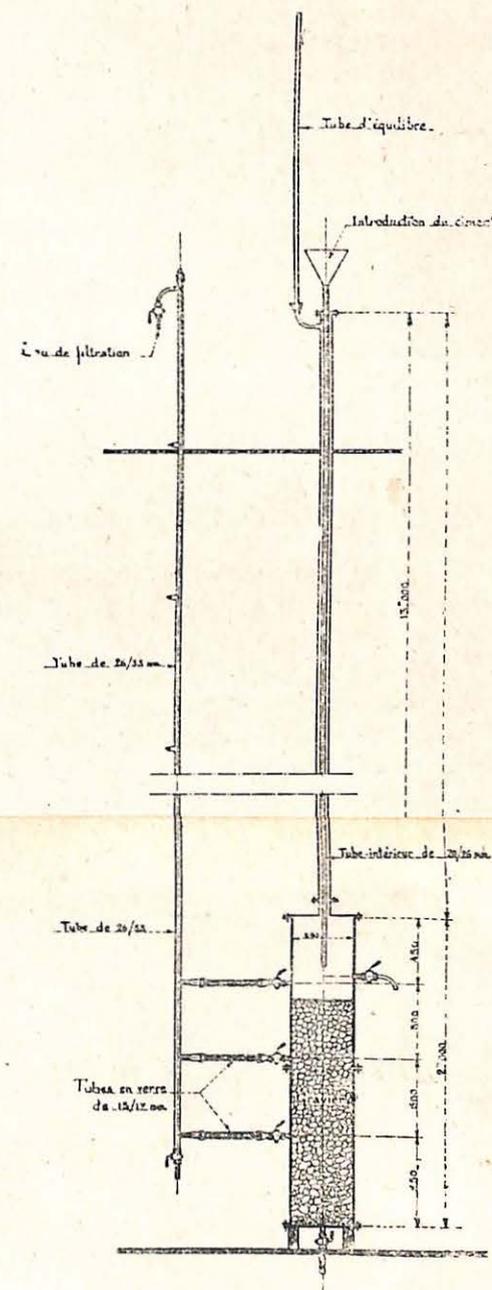


PLANCHE V.

vitesse est encore relativement grande, mais par lequel il ne passe plus qu'un courant d'eau presque claire entraînant quelques grains de ciment.

Dans le tube vertical en verre, ménagé à l'entrée de la carotte, on constate la présence d'un lait cimenteux dense, à grains serrés, mais on ne voit plus de mouvement.

L'absorption par l'entonnoir est déjà très faible, mais on continue à introduire de temps en temps du ciment.

A 15 h. 45, soit au bout de 44 minutes on n'observe plus de cimentation par le tube du milieu. Il subsiste un très petit chenal où il y a de l'eau claire.

On continue néanmoins l'opération, car on voit que la tige d'injection absorbe encore un peu. On place une broche dans le trou de l'entonnoir, et on la soulève toutes les 15 minutes puis toutes les heures. Il pénètre chaque fois un peu de ciment dans la tige.

Cette opération se prolonge du samedi 19 février à 15 h. 45 jusqu'au dimanche 20 février à 16 heures, moment auquel l'absorption était nulle.

Le démontage de l'appareil s'est fait le lundi 21 février à 10 heures du matin.

La carotte était remplie d'un ciment dur, bien serré.

En ouvrant le caisson représentant le puits, on a trouvé le gravier saturé complètement. De plus, un dépôt de ciment surmontait le gravier et avait atteint la base de la tige d'injection.

Cette expérience montre que le bouchage du trou de 54 millimètres de la carotte était obtenu au bout de 45 minutes et très probablement même au bout de 24 minutes. A ce moment tous les vides du gravier n'étaient pas remplis. *L'opération ne se termine que lorsque la tige d'injection se bouche à sa base par l'arrivée du dépôt de ciment à ce niveau.*

Dans cet essai on a utilisé : **92^k,600 de ciment.**

Le volume rempli en ciment est le suivant :

Volume dans le puits	82 lit. 055
Volume du tube sous la carotte	1 » 014
Volume du trou de la carotte.	4 » 370
Volume total rempli de ciment	87 » 439

La densité MOYENNE du ciment déposé est donc de :

$$\frac{92.600}{87.439} = 1.065$$

La densité du ciment bouchant le trou de la carotte a été déterminée par pesée d'un morceau de ciment enlevé de cette carotte, et dont le volume a été calculé par immersion dans l'eau.

Ce calcul donne comme densité : 1.498.

Procédé.

Etant donnés les résultats de ces expériences, nous nous sommes décidés à appliquer le procédé dans le puits.

Je rappelle que le fond du puits était à 646 mètres de profondeur, que le puits était cuvelé de 646 à 585 mètres, murillé de 585 à 508 mètres, cuvelé de 508 mètres jusqu'à la surface, et que la grande brèche se trouvait à 554 mètres, que le puits était complètement noyé et que même il débitait au jour en source artésienne. (Planche II).

Les opérations à exécuter étaient les suivantes :

- 1° Remplir le puits de sable de 646 à 585 mètres ;
- 2° Remplir le puits de briquillons de 585 à 554 mètres ;
- 3° Placer un tube d'injection de ciment partant de la surface et ayant son orifice inférieur à un mètre environ au-dessus de 554 m. ;
- 4° Faire un bouchon à l'orifice du puits ;
- 5° Faire l'injection de ciment.

Ensablement du puits de 646 à 585 mètres.

Nous avions dans le puits une colonne de caissons d'aérage de section 600/400 millimètres que nous voulions utiliser. Il suffisait pour cela de faire sauter un pétard de dynamite dans la colonne de caissons à la profondeur de 585 mètres et de couler ensuite de la surface le sable dans la colonne. Pour réussir un effet destructif, nous fûmes amenés à constater que la bombe devait être absolument étanche sous peine d'obtenir soit un raté complet, soit de voir l'explosif fuser sans produire d'effet dynamique. La bombe qui nous donna entière satisfaction était construite de la façon suivante. (Planche VI).

Elle se composait d'un tube de 130 m/m de diamètre et de 250 m/m de longueur, fermé à sa base et muni à son sommet d'un collet à joint à emboîtement avec rondelle en caoutchouc. La charge comportait 1^k.200 de dynamite-gomme. La capsule de fulminate reliée au câble électrique était entourée de 10 détonateurs indépendants et le tout était placé au centre de la charge de dynamite. Celle-ci était isolée par 2 rondelles en caoutchouc, d'une part, de

BOMBE POUR TIR DE MINES

Sous 583 mètres d'eau.

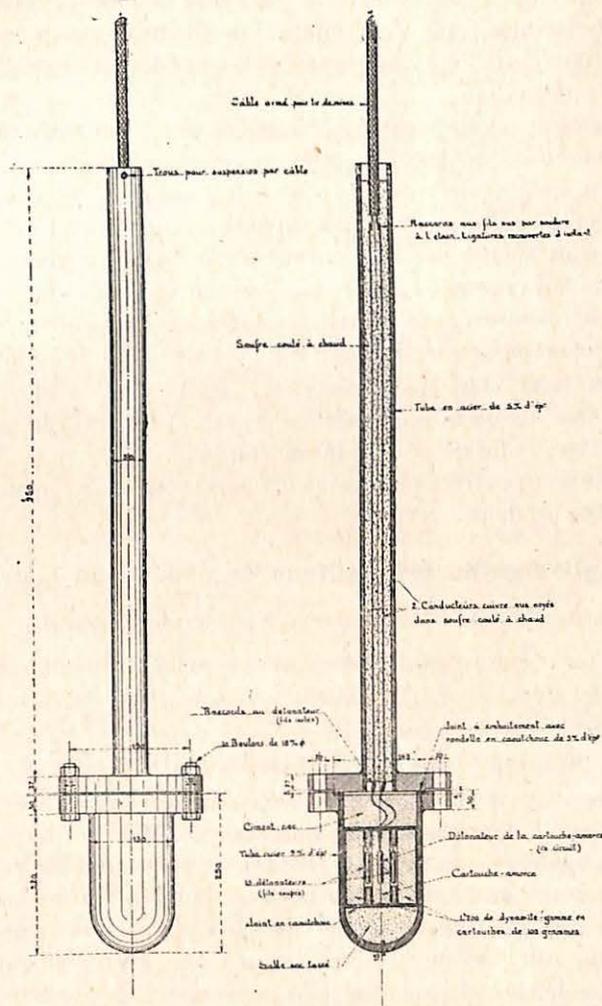


PLANCHE VI.

l'assiette de sable tassé à la base et d'autre part, du ciment remplissant la partie supérieure de la bombe. Entre le détonateur et le câble électrique était interposé un tube de 50 m/m dans lequel se trouvaient 2 conducteurs de cuivre nu bien tendus ; le tube était rempli par du soufre coulé à chaud. Après coulée on éprouva l'étanchéité à une pression de 60 k° par cm^2 . Ce tube, de 50 m/m, se terminait par une bride s'emboîtant avec la bride de la bombe et l'on réalisait ainsi l'étanchéité parfaite, condition essentielle pour obtenir la détonation.

Le caisson ayant été éventré à 585 mètres, on coula le sable au moyen d'une tuyauterie de 130/112 m/m descendue dans la colonne de caissons jusqu'à 300 mètres, ceci pour éviter une ouverture du caisson qui se trouvait à cette cote et par laquelle le sable aurait pu passer. Le sable était amené par un courant d'eau depuis le stock jusqu'à l'orifice de la tuyauterie. Ainsi en 5 jours furent coulés les 1.800 m^3 de sable nécessaires pour remplir le puits sur la hauteur voulue, opération dont on suivait la progression à l'aide d'un fil à plomb.

Dans la suite, nous avons trouvé le caisson aplati à l'endroit de l'orifice inférieur du tube d'injection de sable, provenant de ce que ce courant d'eau et de sable avait formé Giffard.

Le sable avait entraîné beaucoup d'air dont les bulles remontèrent à la surface pendant 3 semaines environ.

Remplissage en briquillons de 585 à 554 mètres.

Cette opération était plus délicate. Nous avons, en effet :

un plancher réservoir à 300 mètres, sous lequel se trouvait le radeau,
un planche réservoir à 570 mètres,
un plancher de service à 571^m,50,
un plancher à 579 mètres (Planche II).

Pour ces trois derniers, les ouvertures laisseraient passer les briques ; nous n'avons pas à nous en préoccuper. Mais la difficulté était de passer au-delà du radeau. Ce radeau fort heureusement possédait une échancrure de 60 sur 80 centimètres, destinée à laisser passer la crépine d'aspiration de la pompe. De plus, nous possédions en ce point-là un rail fixé au cuvelage jusqu'à 415 mètres et qui avait servi à guider les pompes dans leur mouvement de translation afin de les empêcher de tourner. Au moyen du fil à plomb nous nous assurâmes de l'ouverture de passage puis nous construisîmes un cuffat en forme de fuseau, attelé à sa partie inférieure. Ce cuffat possédait

une rainure s'engageant dans le rail-guide, ce qui lui permettait de se maintenir dans sa position droite jusqu'à 415 mètres, extrémité inférieure du rail-guide. En échappant au rail-guide il basculait donc automatiquement et on le remontait renversé. Redressé au jour et engagé à nouveau dans le rail-guide, on le remplissait pour un nouveau voyage (Planche VII).

Nous avons employé des briques entières et des demi-briques. Au moyen d'un fil attaché à une brique abandonnée dans le puits, nous avons constaté que la vitesse de descente dans l'eau était de 7 kilomètres à l'heure : les briques devaient donc arriver au fond sans être endommagées, ce qui fut constaté dans la suite.

Au moyen d'un fil à plomb on suivait le remplissage qui fut arrêté à 555 mètres. Nous avons descendu les 1.200 m^3 nécessaires en 12 jours.

Pose des tubes d'injection

Nous disposions dans le puits de la colonne de caissons qui avait été mitraillée à 585 mètres. Nous fîmes éclater une nouvelle bombe à la profondeur de 553 mètres et nous ouvrîmes ainsi les caissons à cette cote. Nous descendîmes alors dans ces caissons une colonne de 130/112 millimètres de diamètre et de 553 mètres de longueur. Nous avons, dans ces conditions, un tube d'injection dont l'orifice inférieur se trouvait à 1 mètre au-dessus de la brèche et à 2 mètres au-dessus du lit de briquillons.

Bouchon à l'orifice du puits.

L'emploi d'un lait cimenteux à une proportion de 20 de ciment pour 100 d'eau en volume, augmente la densité de 10 p. c. Sur une hauteur de 550 mètres, on crée donc de cette manière une surpression de 5^k,5 par centimètre carré, pression bien supérieure à celle nécessaire pour produire le renversement du courant d'eau du tufeau ; cette eau jaillit à la surface grâce à son niveau piézométrique qui est de 12 mètres au-dessus de l'orifice du puits. Nous avons ainsi, avec un lait à 20 p. c., une pression motrice de 4^k,3 par centimètre carré.

Le bouchon devait évidemment pouvoir supporter cette pression. Nous l'avons construit pour une pression limite de 10 k. par cm^2 . A 15^m,70 de profondeur, nous avons installé huit poutres en bois de 300 × 300 millimètres, sur lesquelles nous avons placé des

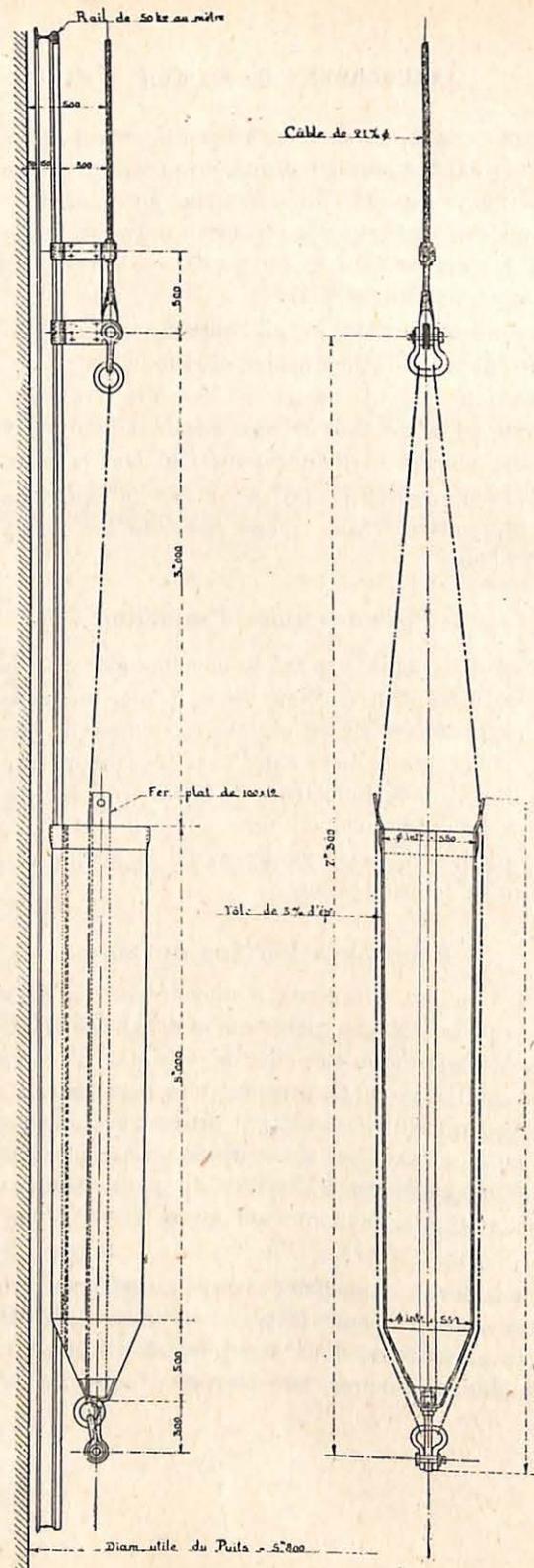


PLANCHE VII.

planches jointives de 50 millimètres d'épaisseur. Sur ce plancher, nous avons pilonné 1^m25 d'argile pour assurer l'étanchéité. Sur ce lit d'argile, nous avons déposé trois poutrelles de 340 × 137 × 12 millimètres, appuyées sur les nervures du cuvelage et noyées dans du béton, puis au-dessus des poutrelles et perpendiculairement, des rails jointifs de 50 kilogrammes. Enfin, le bouchon fut complété par 80 centimètres de béton armé, 1 mètre de béton ordinaire et 70 centimètres de béton armé.

Pour une surpression de 5 kilogrammes par centimètre carré, le bouchon devait supporter, de bas en haut, une charge de 1432 tonnes. Afin d'équilibrer cette charge, nous avons placé sur le béton 10 mètres de sable saturé d'eau, soit 510 tonnes. Ce poids ajouté à celui de l'argile, des poutrelles, du béton, du cuvelage, de la tour et des pompes suspendues, soit 781 tonnes, donnait une charge totale de 1291 tonnes, sensiblement égale à celle engendrée par la pression de 5 kilogrammes par centimètre carré.

Ce bouchon était traversé par la colonne d'injection de 130/112 millimètres de diamètre et 3 colonnes-témoins devant servir l'une à recevoir un manomètre et une soupape équilibrée à 5 kilogrammes par centimètre carré, les deux autres au contrôle après cimentation.

Injection de ciment.

Nous fîmes d'abord des essais à l'eau claire. Tous les robinets avaient été fermés, sauf le tube d'injection 130/112 ; ce dernier débitait l'eau artésienne du tufeau. Sur ce tube, au moyen d'une pompe, nous refoulâmes 61 m³ à l'heure et la pression dans le puits s'éleva à 1 kilogr. par cm². Pour faire l'injection de ciment (Pl. VIII), nous avons installé une cuve cylindrique de 25 mètres cubes de capacité, munie d'un agitateur à palettes mu par un moteur. Le fond de cette cuve était relié directement à la colonne d'injection. Le lait cimenteux arrivait dans la cuve par des couloirs dans lesquels le ciment était entraîné par un courant d'eau réglé de manière à constituer un lait de 50 de ciment pour 100 d'eau ; le robinet qui réglait le débit à la tête de la colonne d'injection était ouvert de façon que le plan du liquide dans la cuve fût assez élevé pour ne jamais laisser pénétrer d'air dans la colonne. En 41 heures nous avons injecté 800 tonnes de ciment, sans que la pression dans le puits s'élevât au-dessus de 1^k,8 par centimètre carré. Pendant l'injection nous avons constaté que des sources s'étaient déclarées autour du puits et débitaient de l'eau claire. Ces sources eurent à un moment un débit

INSTALLATION POUR INJECTION DE CIMENT

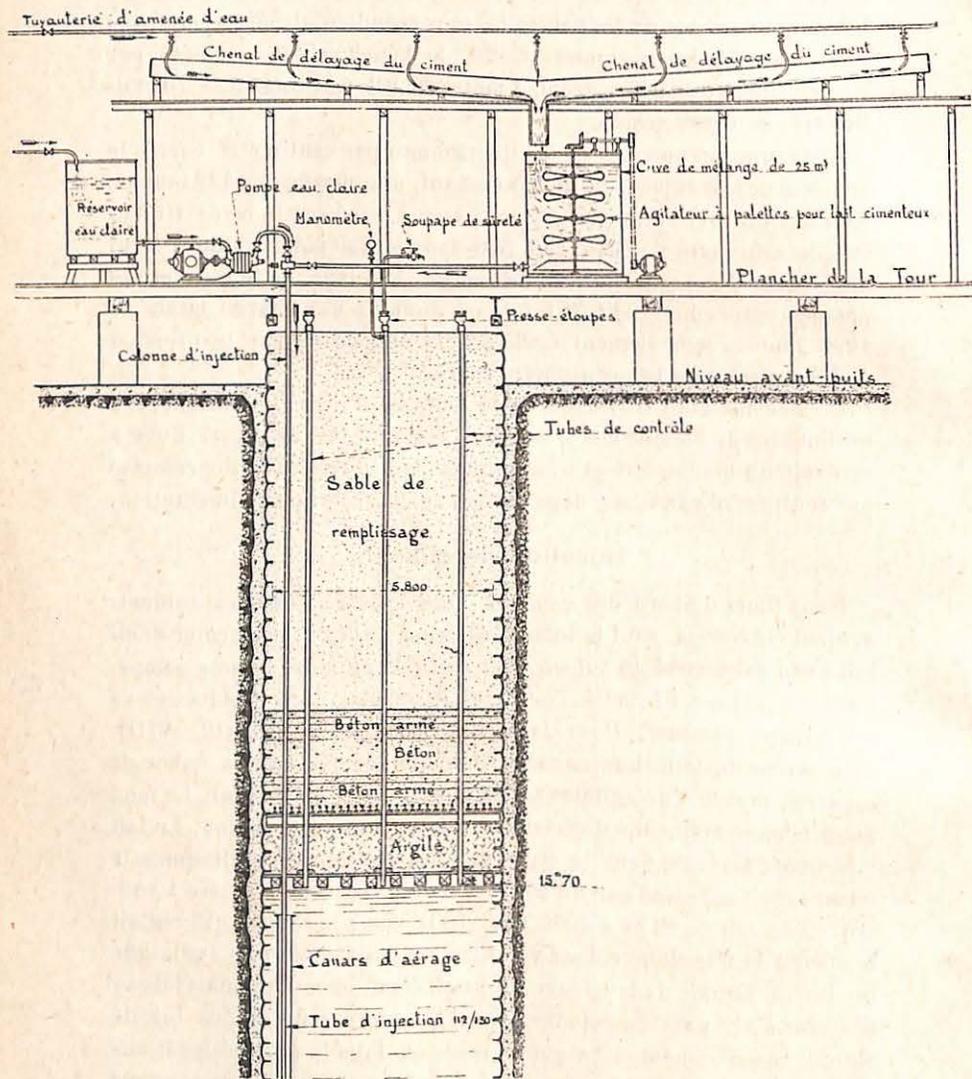


PLANCHE VIII.

maximum de 24 m³/heure, que nous réduisimes à 5m³/heure en fermant les orifices des anciens sondages de congélation par où l'eau sortait en plus grande abondance.

Après avoir injecté ces 800 tonnes, que d'après nos prévisions, nous ne devions pas dépasser (700 tonnes pour le remplissage des briques et 100 tonnes dans le terrain), force nous fut d'arrêter la cimentation pour nous réapprovisionner de ciment ; nous pensions, en effet, ne pas avoir encore réussi à aveugler la venue, d'autant plus qu'ayant repris le refoulement à l'eau claire, nous nous étions retrouvés dans les mêmes conditions de débit et de pression qu'avant cimentation. Mais quel ne fut pas notre étonnement lorsque 5 jours après, ayant arrêté le refoulement à l'eau claire, nous nous aperçumes que, non seulement le puits ne débitait plus, mais que le niveau d'eau avait baissé dans les diverses tuyauteries traversant le bouchon et que le vide s'y était fait. Nous constatâmes alors que le niveau de l'eau dans ces colonnes s'était établi à 4m,15 sous le plancher de la tour, c'est-à-dire au niveau des eaux superficielles. En même temps, on vit réapparaître l'eau dans les greniers des maisons de nos employés, eau qui avait disparu depuis le jour de l'accident.

Il n'y avait donc plus de doute, le puits n'était plus en communication avec la nappe du tufeau.

Mais comme le puits absorbait l'eau qu'on y refoulait, il fallait admettre que c'était par les joints du cuvelage qu'elle passait. Comme vérification, nous abaissâmes par émulsion le plan d'eau dans le puits (il n'y avait que 13 jours que la cimentation était terminée).

A la profondeur de 19^m,70 la venue était de 2m³,720/heure au lieu de 26 mètres cubes avant cimentation.

A la profondeur de 24 mètres la venue était de 2m³,578/heure au lieu de 34 mètres cubes avant cimentation.

A la profondeur de 34^m,70 la venue était de 2m³,521/heure au lieu de 50 mètres cubes avant cimentation.

A la profondeur de 51^m,50 la venue était de 2m³,292/heure au lieu de 74 mètres cubes avant cimentation.

A la profondeur de 68^m,45 la venue était de 3m³,180/heure au lieu de 93 mètres cubes avant cimentation.

Comme nous entendions tomber de l'eau dans le puits sous le bouchon, nous supposâmes que cette venue, qui semblait sensiblement constante, provenait d'un joint du cuvelage, et nous nous décidâmes à démolir le bouchon.

Cependant avant de faire cette opération, nous contrôlâmes, à l'aide d'un fil à plomb, le fond du puits; nous le retrouvâmes exactement au point où nous avions repéré les briquillons. Nous prîmes alors la décision de couler un supplément de 50 tonnes de ciment, afin de masquer les lèvres de la déchirure de la maçonnerie.

Vidange du puits.

Nous remîmes alors nos pompes verticales en marche pour opérer la vidange du puits.

La venue fut contrôlée; nous constatâmes qu'elle augmentait au fur et à mesure de l'abaissement du plan d'eau, mais les venues étaient insignifiantes en comparaison de ce qu'elles étaient avant la cimentation.

(Planche I).

Ainsi, à 315 ^m	la venue était de 11 ^{m³} /h.	au lieu de 290 ^{m³}	
» à 356	» 12	» 320	»
» à 403	» 17,800	» 365	»
» à 504	» 26,400	» 450	»
» à 554	» 27	» 500	» chiffres extrapolés

En arrivant à 508 mètres, base du cuvelage supérieur, nous établîmes un plancher suspendu par des chaînes à la bride inférieure du dernier anneau placé, plancher à l'aide duquel nous posâmes le cuvelage en descendant (Planche IX). Nous arrivâmes ainsi jusqu'à 554 mètres où nous découvrîmes la déchirure, de 5 mètres de hauteur et de 7 mètres de largeur maximum, ainsi que des pans de maçonnerie pénétrant de 1^m,40 dans la section utile du puits. Le muraillement étant composé de béton armé, aucune chute de matériaux ne s'était produite. Le décollement avait eu lieu dans la craie blanche dès son contact avec la craie grise qui n'avait pas bougé.

Les 27 mètres cubes d'eau sortaient de la craie blanche à la hauteur de 554 mètres et sur 3 mètres environ de la circonférence. Nous cimentâmes, entre cuvelage et terrain, tous les anneaux placés; nous posâmes, devant la cassure (Planche X), un anneau muni de quatre tubulures de 30 millimètres avec robinet et, immédiatement en dessous, un anneau qui était cimenté à l'extrados. La venue se trouvait alors captée et sortait librement par trois des robinets, le quatrième étant fixé à une tuyauterie allant jusqu'à la surface et prête ainsi à servir instantanément de tube d'injection de ciment, quoiqu'il puisse arriver.

POSE DU CUVELAGE EN DESCENDANT PLANCHER MOBILE

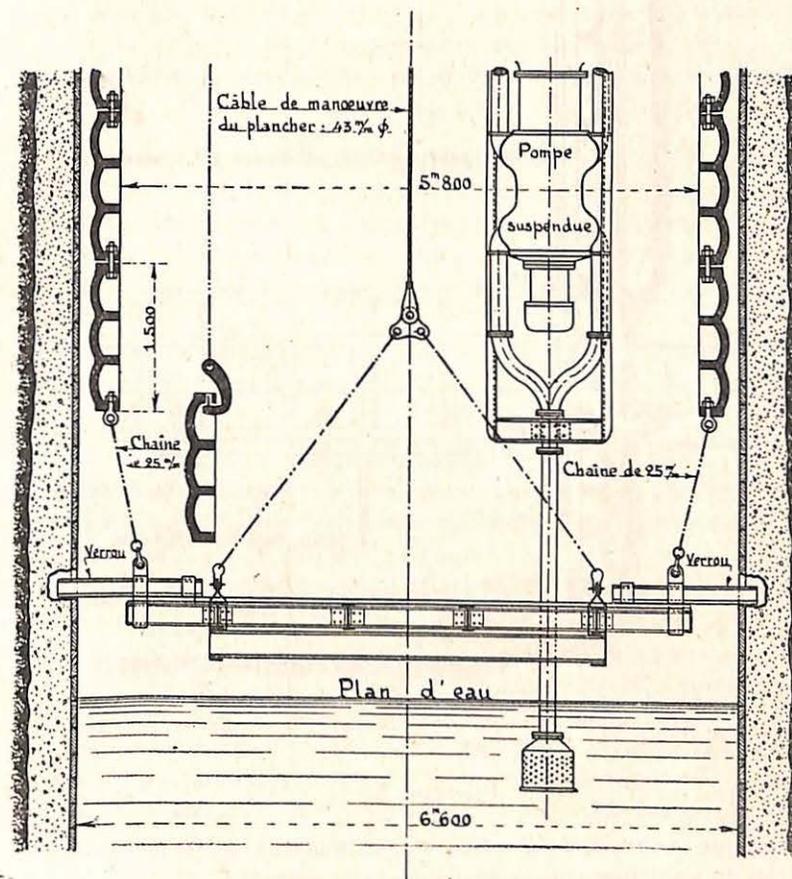


PLANCHE IX.

L'eau s'écoulant par les robinets était reçue dans un cuffat, dans lequel plongeait le tuyau d'aspiration de la pompe, ce qui donnait l'avantage d'alimenter la pompe en eau limpide et de laisser le fond du puits à sec.

Nous descendîmes ensuite en plaçant le cuvelage au fur et à mesure de la descente et en le cimentant, constatant, en trois points différents, de petites venues de 1 m³ à 2 m³,5/heure que nous laissâmes écouler par les bouchons de cimentation.

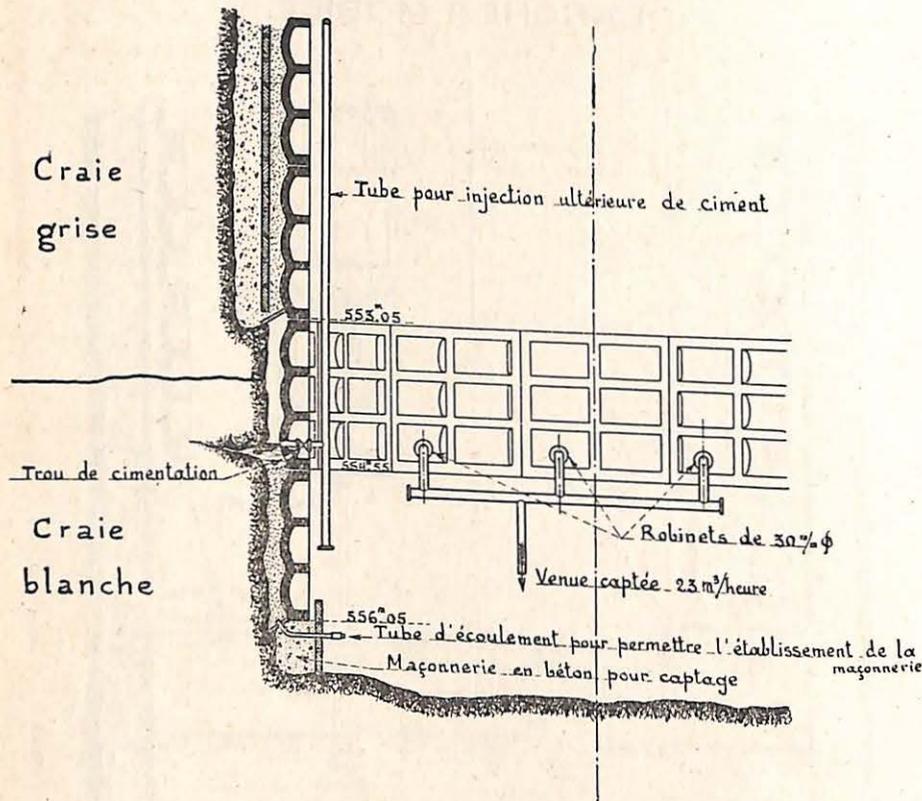
CAPTAGE DE LA VENUE A 554^m,55

PLANCHE X.

Dès que le cuvelage eût pénétré dans la marne, à 569 mètres, les parois du puits furent trouvées absolument étanches.

Malgré cela, nous continuâmes le creusement avec pose du cuvelage en descendant jusqu'à la soudure avec la tête du cuvelage inférieur, et alors seulement nous fermâmes les robinets par où la venue se livrait passage et cimentâmes par la tuyauterie préparée à cet effet.

Après cimentation, les robinets furent enlevés et remplacés par des joints pleins.

Béton formé par des briquillons. — Nous avons trouvé d'abord, sans consistance aucune, les 50 tonnes de ciment que nous avions

coulées après la cimentation, puis les 3 premiers mètres de briquillons. En dessous, le béton était bien formé, consistant et de plus en plus dur. Les potelles laissées dans la maçonnerie étaient remplies de ciment bien dur. Dans la partie éventrée, les vides formés par le décollement de la maçonnerie étaient également remplis de ciment bien pris.

Il faut donc, pour réussir un bouchon efficace au fond d'un puits :

1° Y jeter, sur une hauteur importante, des cailloux laissant bien passer le ciment dans les interstices. Les briques et demi-briques conviennent très bien par leur grosseur ; de plus, elles se prêtent facilement au creusement subséquent avec le marteau piqueur sans explosif ;

2° Couler le ciment sous pression en fermant le puits à sa partie supérieure, de façon que le ciment soit contraint à se tasser au fond du puits.

CONCLUSIONS

Le procédé que nous avons employé a permis de réparer un accident dont la gravité, en raison de la profondeur et du grand débit de la voie d'eau, nous laissait très perplexé.

Faire de la cimentation par l'extérieur du puits ne nous aurait conduit à rien. Il aurait fallu qu'un sondage vint atteindre le vieux trou, ce qui était impossible à réaliser. Retrouver ce trou par son ancienne ouverture, il ne fallait pas y songer non plus. Le nouveau trou avait été tubé, et même si on avait pu arracher ces tubes, il eût été impossible de rentrer dans le sondage perdu, surtout dans une roche tendre comme le tufeau. La petite venue de 27 mètres cubes heure que nous avons eue après cimentation aurait été évitée, si nous avions pu établir une certaine pression dans le puits pendant la cimentation, car nous aurions alors tassé le ciment dans les vides, de telle façon que rien n'aurait pu en sortir quand nous avons créé la dépression par la vidange du puits.

Quand l'obturation a été faite, il s'est trouvé que les 509 mètres de cuvelage avec ses kilomètres de joints se laissaient pénétrer par l'eau à la pression de 1^k,5 par centimètre carré. L'eau cimenteuse ne pénétrait plus alors dans le terrain, mais remontait dans le puits. Nous avons, en effet, à partir de 350 mètres trouvé un dépôt de ciment impalpable sur toutes les nervures. Sans atteindre la perfection, ce procédé nous a permis de réduire à 27 mètres cubes/heure une venue de 500 mètres cubes/heure et de réparer notre accident.

Beerlingen, 20 février 1922.