LA CIMENTATION DES TERRAINS

PRÉALABLE AU FONÇAGE DES PUITS

du nouveau siège

DE LA

Société Nouvelle des Charbonnages du Levant de Mons

A ESTINNES AU VAL

PAR

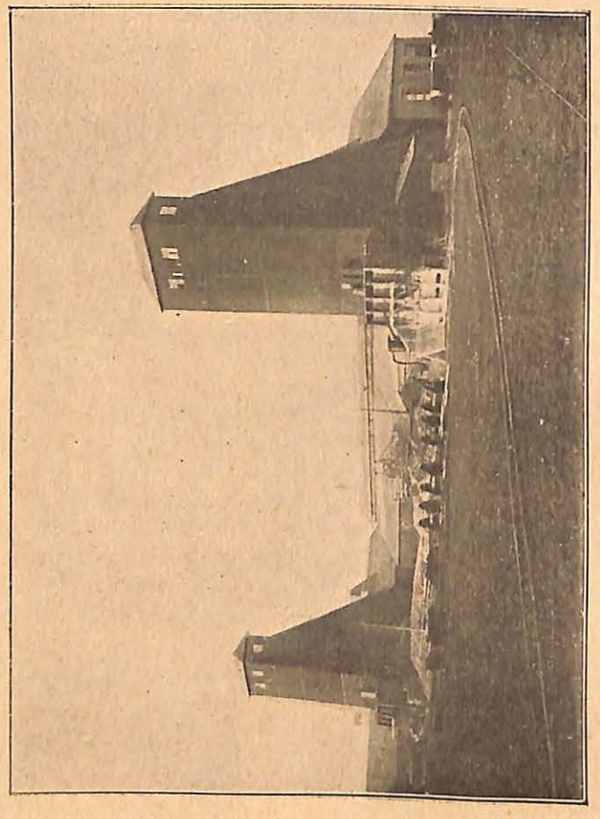
M. Marcel RENDERS

Ingénieur de la firme Albert François, à Liége.

La Société Nouvelle des Charbonnages du Levant de Mons a entrepris d'établir son premier siège, sur le territoire d'Estinnes au Val à environ 600 mètres au Sud de la borne 9 de la route Mons à Binche. La traversée des morts-terrains devant s'opérer par la cimentation, l'exécution de ces travaux fut confiée à la firme Albert François de Liége, qui s'était fait connaître par la grande extension de ses entreprises en Angleterre et en Afrique du Sud, ainsi que par la réparation des puits de la Compagnie des Mines de Lens, détruits par les Allemands.

La coupe du terrain à l'endroit du sondage (sondage n° 52) renseignait :

	Terrains	Epaisseur	Profondeur finale
	—	—	—
Moderne	Terre végétale	0,40	0,40
Quaternaire	Argile et sables.	3,60	4,00
Crétacé	Marnes à silex	1,10	5,10
	Craies d'Obourg, Trivières, Saint-Vaast et Maizières .	111,10	116,20
	Rabots et Fortes-Toises . .	3,10	119,30
	Dièves et Tourtia	4,35	123,65
	Houiller.		



Vue générale des deux puits en fonçage, en novembre 1921.

Les puits sont creusés en alignement Nord-Sud à 50 mètres de distance d'axe en axe, à environ 150 mètres au Nord-Ouest du sondage.

Les puits ont rencontré les terrains suivants :

	N° 1	N° 2
Remblai	1,60	1,60
Argiles et sables quaternaires .	1,50	1,50
Landénien avec banc de silex de base.	traces	0,70
Craie d'Obourg	41,90	41,90
Craie de Trivières	57,30	57,00
Craie de Saint-Vaast	17,70	17,00
Craie de Maizières avec petit banc de silex.	3,00 (base à 123,00)	3,00 (base à 122,70)
Rabots.	7,70	7,70
Fortes-Toises	2,00	2,00
Dièves sableuses très foncées . .	1,00 env.	1,00 env.
Houiller	à 133,70	à 133,40

Les craies supérieures sont très fissurées et très aquifères. La base de l'assise de Trivières, ainsi que la craie de Saint-Vaast sont plus grasses, plus compactes et partant moins sujettes à de fortes venues d'eau.

Par contre, la craie de Maizières et les rabots sont excessivement aquifères. Comme, d'autre parf, ces terrains sont très durs, il y avait avantage à les traiter séparément, du fond du puits, en une passe spéciale.

La cimentation des morts-terrains fut donc divisée en deux parties :

a) Cimentation des craies jusqu'à la tête des rabots faite en une passe depuis la surface ;

b) Cimentatien des assises siliceuses turoniennes jusqu'au terrain houiller, faite au fond du puits.

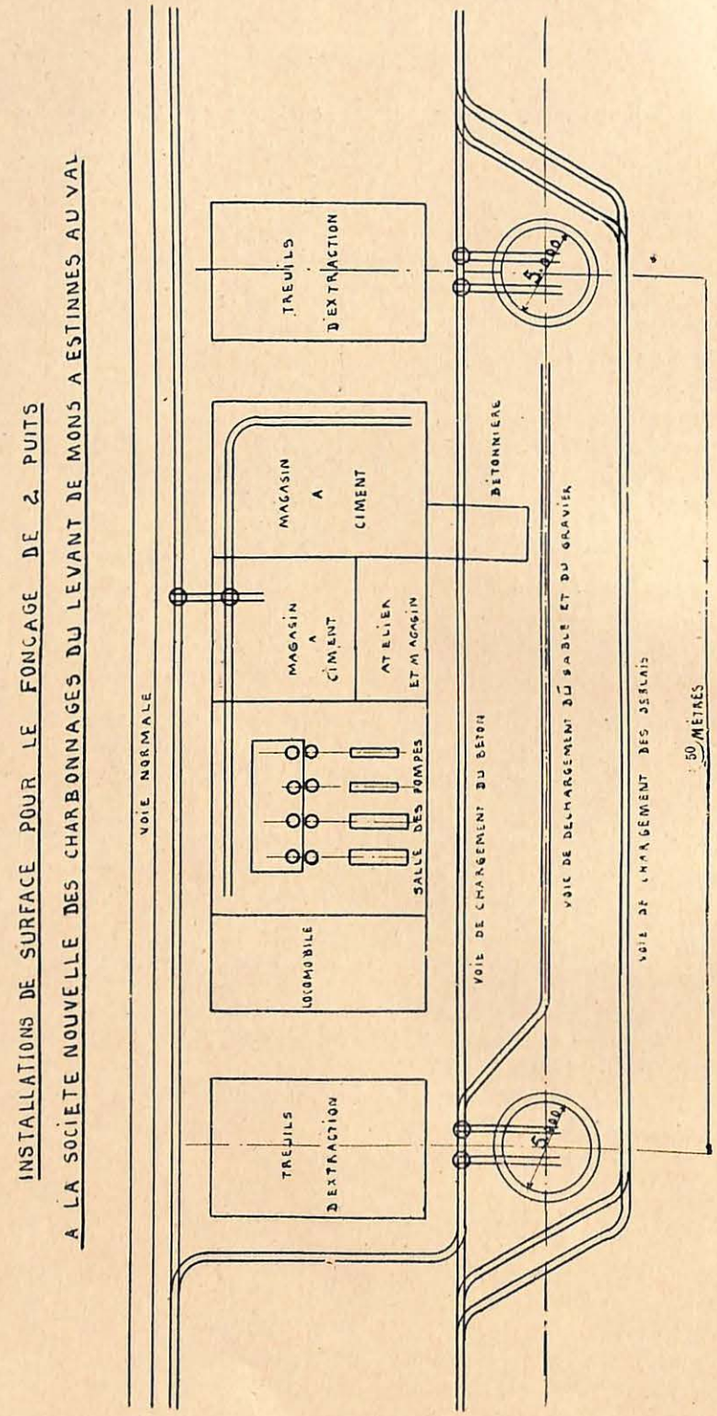


Fig. 1.

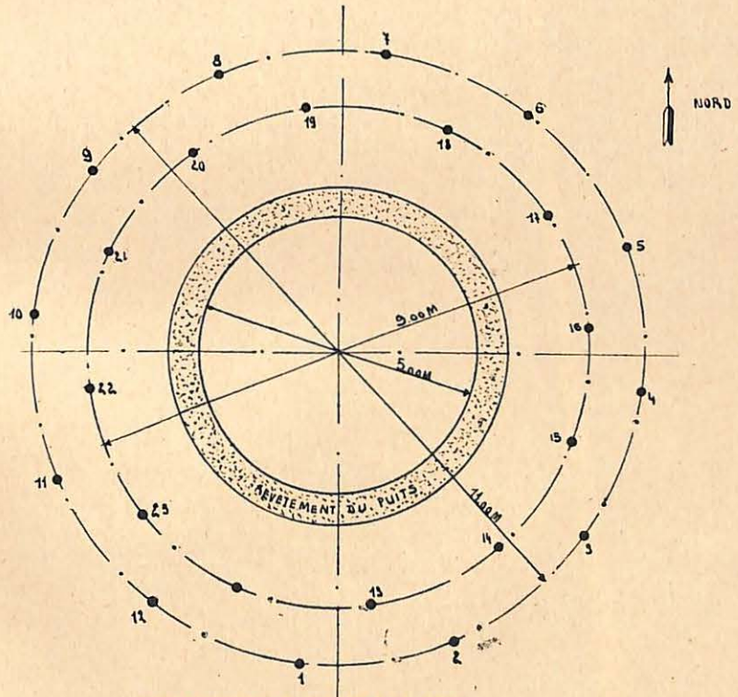
CHAPITRE PREMIER

La Cimentation des Craies jusqu'à la tête des rabots.

La façon d'opérer fut identique aux puits n°s 1 et 2. Au moment où ces travaux débutaient, printemps 1921, les installations du Charbonnage étaient encore très sommaires. (Voir fig. 1.)

Les deux avants-puits qui avaient été creusés jusqu'à la tête des craies, soit donc sur un peu moins de 6 mètres, avaient reçu un épais revêtement en briques au diamètre intérieur de 5^{m},50. Il est à noter que l'encombrement de nos installations de sondage et de cimentation était tellement faible, qu'on put sans dérangement aucun de part et d'autre, poursuivre sur chaque puits les sondages et la cimentation, et en même temps effectuer le montage des châssis à molette provisoires et de toute l'installation de fonçage.

Nous pouvons résumer en quelques mots, la façon dont fut menée la cimentation : concentriquement à l'axe du puits, deux couronnes de douze sondages chacune (voir fig. 2), furent forées et cimentées par courtes passes jusqu'à une profondeur moyenne de 124 mètres.



CHARBONNAGE DU LEVANT DE MONS
CIMENTATION DE LA SURFACE JUSQUE 124 M.
DISPOSITION DES SONDAGES

Fig. 2.

Dès achèvement de la cimentation, on entama le fonçage.

Nous examinerons en particulier quelques points de détail :

1° *Sondages :* à cause de la grande sécheresse qui marqua l'été de 1921, le niveau qui se maintient habituellement vers 30 mètres, descendit aux environs de 40 mètres ; néanmoins en prévision du rétablissement du niveau normal, et même d'une élévation de ce niveau, le terrain fut complètement cimenté depuis la surface : chaque sondage reçut un tubage de tuyaux de 2″ (50 millimètres) éprouvés à 100 atmosphères. Les tubes furent scellés dans le terrain au moyen d'un lait épais de ciment. La longueur des tubages fut uniformément de 20 mètres.

Aussitôt le scellement achevé, on approfondissait méthodiquement les sondages par petites passes que l'on injectait à refus, et de force.

Les sondages furent traités dans l'ordre suivant :

1er groupe : nos 1, 3, 5, 7, 9, 11 simultanément jusque 124 mètre environ.

2me groupe : nos 2, 4, 6, 8, 10, 12 simultanément jusque 124 mètres environ.

3me groupe : nos 13, 15, 17, 19, 21, 23 par passes plus longues.

4me groupe : nos 14, 16, 18, 20, 22, 24 par longues passes.

Nous donnons immédiatement ci-dessous pour chaque puits, les détails des quantités injectées dans chaque sondage.

On remarquera la corrélation existant entre l'ordre de traitement et la décroissance de la capacité d'absorption du terrain :

Puits n° 1. — 1er groupe : sondages impairs de la couronne extérieure :

Numéros	Profondeurs en mètres	Quantité injectée en kgs
1	en moyenne 124m,50	110.350
3		116.550
5		133.250
7		83.800
9		77.300
11		93.850
		615.000

2e groupe : sondages pairs de la couronne extérieure :

2	en moyenne, 124m,50	59.700
4		56.950
6		38.500
8		76.800
10		27.300
12		24.550
		283.800

3e groupe : sondages impairs de la couronne intérieure :

13	en moyenne, 124m,50	7.250
15		16.500
17		9.250
19		13.800
21		29.500
23		44.400
		120.700

4e groupe : sondages pairs de la couronne intérieure :

14	en moyenne, 124m,50	10.100
18		5.100
20		4.700
22		17.700
24		4.200
		59.200

Quantité totale pour la couronne extérieure .	898.900
» » » intérieure .	179.900
» » les deux couronnes . .	1.078.800

Puits n° 2. — 1er groupe : sondages impairs de la couronne extérieure :

1	123.00	45.700
3	121.55	55.800
5	122.50	52.800
7	45.00 abandonné	27.250
9	122.00	62.850
11	122.40	66.900
		311.300

2e groupe : sondages pairs de la couronne extérieure :

2	122.20	45.050
4	122.50	53.750
6	122.00	40.550
7	122.80	35.950
10	122.20	39.750
12	122.40	44.859
		259.900

3e groupe : sondages impairs de la couronne intérieure :

13	122.10	15.950
15	non traité	—
17	122.30	13.350
10	122.40	46.150
21	non traité	—
23	122.30	12.850
		88.500

Les sondages 15 et 21 fortement déviés lors de la pose du tubage ne furent pas traités. De ce fait le 4e groupe dut être plus fortement injecté.

4e groupe : sondages pairs de la couronne intérieure :

14	122.30	24.950
16	122.40	18.750
18	122.50	60.500
20	122.00	12.550
22	122.10	13.150
24	122.10	28.300
		158.200

Quantité totale pour la couronne extérieure	571.200
» » » intérieure	246,700
» » les deux couronnes	817.900

Si l'on tient compte de ce que la zone cimentée s'étendit en réalité de 20 à 125 mètres et que l'on perdit du ciment, soit par repassage à la surface, soit par les dépôts ou vidanges des tuyauteries, soit du fait qu'il fallait reforer dans du ciment en poursuivant le sondage

après injection, on peut considérer que pour 105 mètres de terrains traités, on a utilisé au puits n° 1 : 1.050 tonnes de ciment, soit 10 tonnes par mètre courant de terrain traité.

Au puits n° 2 la consommation fut moins forte, la zone à étancher étant influencée par le traitement du n° 1 qui avait débuté avec une avance de plus d'un mois.

La moyenne est néanmoins de 7,6 tonnes par mètre courant.

Ces chiffres n'ont rien d'excessif si l'on considère d'une part le volume de terrain à étancher et d'autre part la grand proportion de vides existant dans les craies, Les échantillons recueillis au cours des fonçage ont montré surtout dans la zones des 50 premiers mètres, des cassures très étendues atteignant de 6 à 8 centimètres d'ouverture,

La proportion de vide diminue progressivement avec la profondeur.

Les sondages furent effectués au moyen d'un matériel excessivement maniable et léger : il comprenait trois sondeuses de 8 HP à air comprimé.

Les sondeuses ne fonctionnèrent simultanément qu'à de rares occasions, par suite de l'insuffisance d'air comprimé. Pendant les injections, on les arrêtait.

Elles permirent cependant de faire, au puits n° 1, environ 30.000 mètres de sondages (longueurs accumulées) en l'espace de 68 jours de travail effectif à trois postes,

Au n° 2, les mêmes appareils firent plus de 22.000 mètres.

La sondeuse fonctionnait à rotation et injection d'eau et, au moyen d'un outil foreur en acier, creusait un sondage de 45 millimètres de diamètre uniforme sur sa hauteur. Les sondages n'étaient plus tubés sous le niveau de 20 mètres.

Là où le terrain était très dur ou bien lorsque nous avions à traverser du ciment durci dans le sondage, nous eûmes recours au marteau François de 80 millimètres.

Ce marteau à rotation permet l'injection d'eau par un touret sur les tiges de sondages. Son action est très énergique et efficace même avec des sondages profonds.

Force motrice et air comprimé. — La force motrice nécessaire nous était fournie par une locomobile Gardner de 80 HP à 6 atmosphères qui nous donnait la vapeur pour les pompes d'injection et actionnait en même temps un compresseur Atlas de 60 HP fournissant l'air comprimé pour toute l'installation et les forges.

A cause, d'une part, de la forte teneur en calcaire des eaux d'alimentation et, d'autre part, de l'insuffisance de la locomobile, la force motrice fit souvent défaut, bien que les arrêts de l'espèce n'eussent généralement aucune influence sur la réussite des opérations.

Aussitôt qu'un sondage était arrivé à la profondeur fixée, il était nettoyé par un lavage violent à l'eau claire, puis, les tiges étant remontées, on réunissait la tête du sondage par un flexible spécial à la tuyauterie d'injection et la pompe à cimentation était mise en marche immédiatement. L'injection de lait de ciment était forcée sans retour du trop-plein au malaxeur. Après injection et un léger repos, le sondage était repercé et descendu quelques mètres plus bas.

Matériel d'injection. — Le matériel utilisé par la firme est extrêmement perfectionné. Construit spécialement pour elle, il permet l'injection de ciment à grande vitesse et à haute pression d'une façon excessivement simple et sûre. Le ciment est amené du magasin aux bacs malaxeurs où il est mélangé à l'eau à la dose voulue. Il est brassé, filtré pour en écarter tous les éléments nuisibles (silex venant de la cimenterie, boulons oubliés dans les sacs de ciment à l'ensachage de ceux-ci, déchets de bois, de corde, et ferrailles à plomber). Repris par la pompe, le lait de ciment purifié est refoulé vers le sondage.

Cette pompe, d'une grande souplesse et d'un débit de 15 mètres cubes à l'heure à pleine vitesse, permet l'injection à des pressions de 280 atmosphères (rarement atteintes en pratique, sauf dans les terrains exceptionnellement durs : quartz aurifères, diorites, basaltes, granites).

Une liaison mobile est assurée entre la tuyauterie de refoulement et la tête du sondage par un tuyau flexible armé construit également pour les très hautes pressions.

Aux puits d'Estinnes-au-Val, les pressions d'injection oscillèrent entre 50 et 100 kilogrammes ; elles atteignirent toutefois 120 kilogrammes dans certaines circonstances.

En décomptant des dimanches, jours fériés et chômages dus au manque d'eau, de ciment ou d'air comprimé, les opérations sans les travaux préparatoires de montage et de tubage prirent aux puits n° 1 et n° 2 ; respectivement 68 et 60 jours de travail effectif à trois postes.

Avant d'entamer le fonçage, on fora au diamètre de 100 millimètres, un sondage dans l'axe du puits jusqu'à la profondeur de

75 mètres et on le remplit d'eau. (Le niveau aquifère était à environ 40 mètres). L'eau se maintint dans le sondage à la cote initiale, à la tête du tubage pendant les vingt heures que dura l'essai. La complète étanchéité du terrain étant constatée on entama le fonçage immédiatement, le 10 septembre au puits n° 1, et le 26 octobre au puits n° 2.

On fit une première passe de 54 mètres : les craies se montrèrent parfaitement cimentées aussi bien dans les formations marneuses et très argileuses de la surface, que plus bas dans les fissures les plus minuscules. La présence d'argile ou de dépôts d'hydroxydes ferriques n'entrava nullement la parfaite adhérence du ciment au terrain, pas plus qu'elle ne fit obstacle à sa prise. Des échantillons nombreux ont été recueillis et montrent la parfaite obturation des ouvertures les moins perceptibles à l'œil nu, ainsi que les effets de la pression.

Les passes suivantes furent de 30 et 34 mètres, sans qu'il fallut épuiser : la venue totale pour chaque passe découverte n'atteignit jamais 300 litres à l'heure.

Le fonçage put donc se faire avec une remarquable rapidité. Il fut arrêté au niveau de 118 mètres en prévision du traitement des rabots de l'intérieur du puits.

Revêtement. — Le revêtement des puits est effectué entièrement en béton monolithe suivant les indications et sous la direction de la firme François. L'épaisseur du revêtement est de $0^m,30$ jusqu'au niveau de 54 mètres, de $0^m,45$ jusqu'au niveau de 84 mètres et de $0^m,50$ jusqu'à la cote de 150 mètres environ.

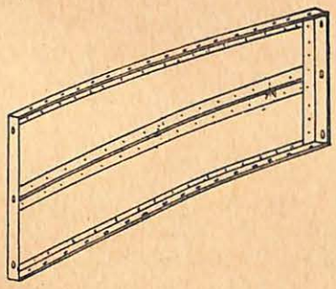


Fig. 3.

Le coffrage qui sert à la confection du muraillement est composé d'anneaux en tôles d'acier, à sept segments boulonnés entre eux au fur et à mesure de l'avancement. Nous donnons ci-contre un croquis de segments (fig. 3).

Les anneaux sont successivement placés et bétonnés. A l'initiative de M. Demart, Directeur des travaux du charbonnage, on essaie actuellement au puits n° 1 un nouveau système de descente de béton de la surface par une colonne de tuyaux. Les

SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE BIBLIOTHÈQUE

matériaux sont humectés à leur sortie de la tuyère, suivant un principe analogue au cement-gun. On peut facilement faire un avancement de 7m,50 par jour avec le système ordinaire et atteindre 18 mètres par le second système.

Le plancher de manœuvre suspendu par câble repose pendant le bétonnage sur le dernier anneau bétonné par l'intermédiaire de six verrous.

Durant le bétonnage on réserve dans le muraillement l'emplacement des potelles pour les parti-bures.

Le puits est équipé (voir figure 4) de la façon suivante : tous les 1m,50, deux fortes traverses constituées par des fers U supporteront des guides en bois de 0.18 × 0.18. Au droit des guides des contrefiches ancrées dans le béton raidissent les traverses. Il y a donc huit potelles à ménager dans le cuvelage tous les 1m,50.

L'étanchéité de ce cuvelage est telle que par passes de 100 mètres en terrain aquifères, la venue maximum par heure n'atteint jamais 200 litres.

CHAPITRE II

Traitement spécial des assises turoniennes formant la jonction des craies avec le houiller au puits n° 1.

Ces assises ont été reconnues au puits n° 1 pour avoir la composition suivante :

Craies de Maisières avec silex . . . . de 120 à 123 mètres.
Rabots, en bancs durs et compacts, ou
amas de rognons de silex . . . . . de 123 à 130m,70 env.
Fortes-Toises. Craie grisâtre et concrétions
siliceuses . . . . . de 130m,70 à 132m,70.
Dièves sableuses vertes . . . . . de 132m,70 à 133m70.
Houiller avec très légère pente de la surface de contact vers le N.-O. . . . . à 133m,70.

La cimentation des terrains, depuis la surface, n'ayant pas dépassé le niveau de 124 mètres, nous prîmes nos dispositions pour traiter de l'intérieur du puits les rabots que nous savions — de par les exemples des Charbonnages de Bray et de Ressaix (puits Sainte-Marguerite) — devoir être durs et très aquifères.

Le fonçage fut arrêté à 118 mètres et un sondage central au diamètre de 45 millimètres fut poussé en reconnaissance : ce sondage

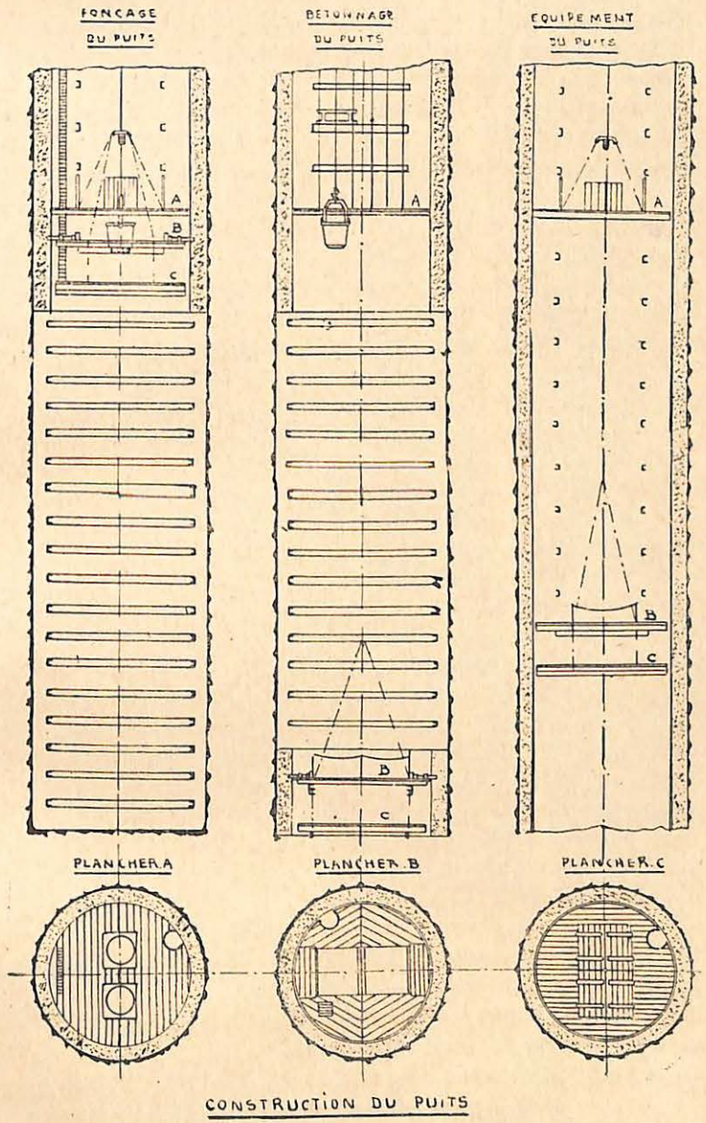


Fig. 4.

rencontra quelques silex dans la craie de Maisières à 122 mètres, puis toucha la tête des rabots. Immédiatement une venue d'eau de 3 mètres cubes à l'heure jaillit par le tubage.

Le terrain intermédiaire étant trop faible pour supporter les pressions d'injection et se fissurant du reste sous la pression d'eau, on eut recours à un bouchon en béton armé qui devait servir de masque pour les travaux de cimentation (figure 5).

Voici comment ce bouchon fut construit : On fora d'abord à la main 8 trous de 100 millimètres de diamètre et de $1^m,50$ de profondeur, légèrement inclinés à 80° sur la verticale. Dans ces trous on disposa des tubages de 2″ des sondages d'injection. Sur ce sol, on déposa un lit de $0^m,50$ de pierrailles devant servir de réservoir aux eaux qui suintaient par le fond du puits. Ces eaux étaient reprises par un tuyau de 100 millimètres percé d'ouvertures, entourant le sondage central, et aspirées par une pompe à air comprimé. La venue d'eau totale était à ce moment de $2^{m3},4$ à l'heure.

Sur le lit de pierrailles on plaça un plancher en madriers de 5 centimètres, surmonté d'un lit de fin poussier de carrières.

Un tuyau de 2″ fut, pendant le bétonnage laissé en communication avec le drain pour la mesure du niveau d'eau.

On coula ensuite un bouchon de $1^m,80$ d'épaisseur en béton armé par rails Decauville et fer ronds de 25 millimètres. L'armature avait été calculée pour pouvoir permettre l'application de pressions de 25 atmosphères au bouchon, pression qui fut dépassée au cours des injections (60 kgs en moyenne).

Enfin sur le tout on plaça un plancher de travail. L'exhaure des eaux venant des sondages était faite soit au cuffat, soit au moyen d'une pompe à air comprimé.

Ultérieurement, des sondages supplémentaires *1bis*, *3bis*, *4bis*, *5bis*, *6bis* et *7bis* furent forés également en dehors du périmètre des premiers sondages (niveau de 115) mais au niveau de 112 mètres dans la paroi.

Les sondages du niveau de 115 mètres, au nombre de huit, furent traités méthodiquement : on reconnut plusieurs nappes aquifères à grand débit. Les venues d'eau étaient nettement localisées dans les bancs de silex durs et compacts entre 125 et 130 mètres. Le total des venues recoupées par ces sondages de 45 millimètres ainsi que par le sondage central peut être estimé à 50 mètres cubes à l'heure.

Par raison de sécurité, la cimentation fut poussée jusque 133 mètres. Un des sondages atteignit même 138 mètres dans le houiller.

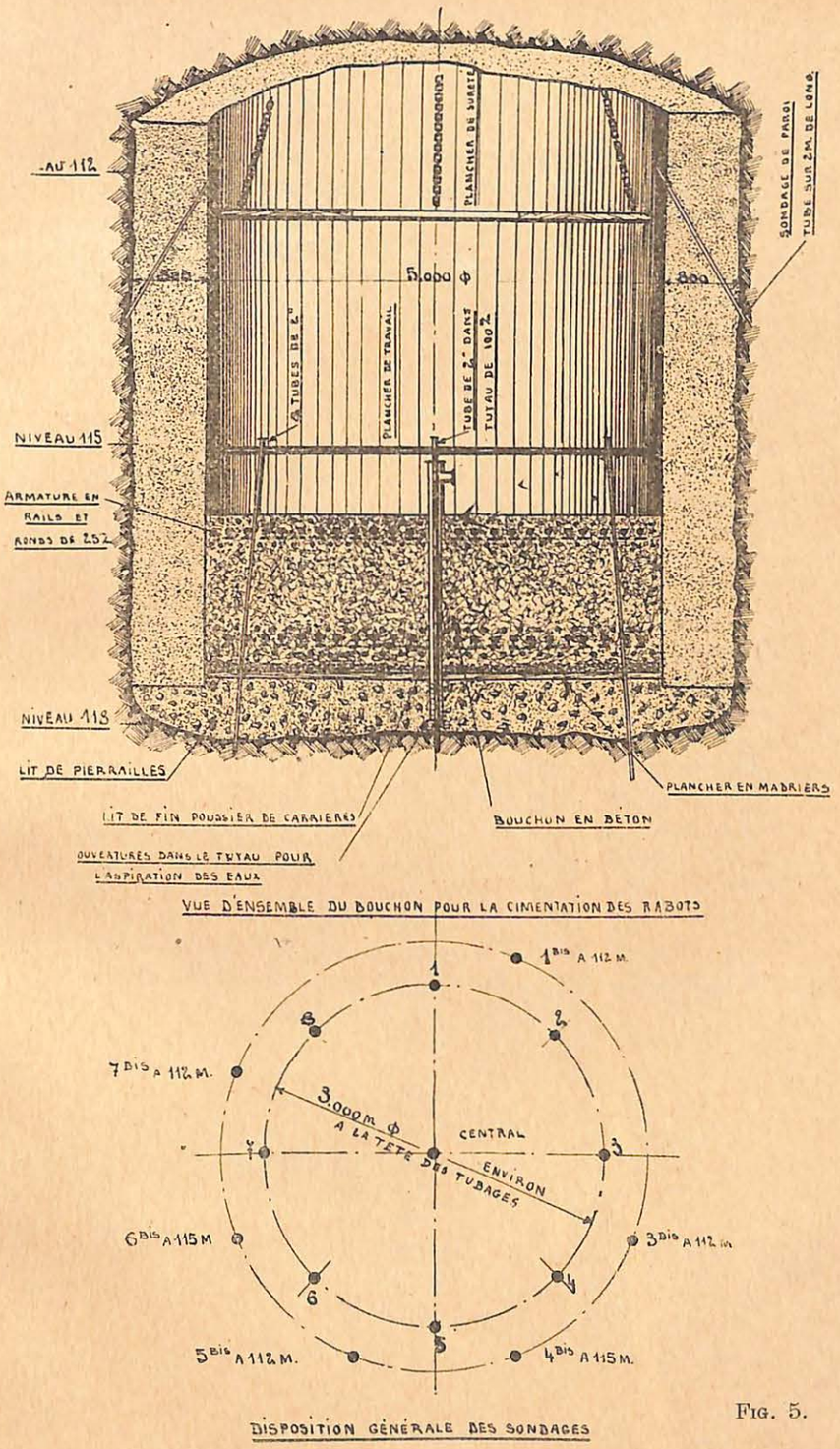


FIG. 5.

Au sujet des travaux proprement dits, quelques observations ;

a) Les forages furent exécutés entièrement au marteau Bolide de 80 millimètres à injection d'eau et trépans en étoile.

b) Les injections furent faites à la pression de 50 à 70 atmosphères sans aucun inconvénient pour le cuvelage. Bien au contraire, l'application continue de fortes pressions se reportant directement contre le muraillement, qui avait de 40 à 50 centimètres d'épaisseur, fit généralement remonter une bonne quantité de ciment dans le cuvelage, et les suintements auxquels il avait donné lieu au début, sous l'effet de ces pressions, furent radicalement supprimés par la pénétration du ciment dans le cuvelage.

Dès le début de l'injection, le manomètre indiquait plus de 10 kilogrammes à la surface, ce qui correspondait généralement à une pression effective de 25 kilogrammes sur le sondage. Les résistances rencontrées etaient énormes malgré l'apparente ouverture des venues d'eau.

Les hautes pressions étaient donc nécessaires pour faire absorber du ciment par les rabots. Mais pour en faciliter l'absorption et la pénétration, nous eûmes surtout recours aux procédés spéciaux de la silicatisation.

Dans ces conditions et faisant abstraction du ciment perdu de diverses façons, les quantités de ciment réellement absorbées par les sondages furent respectivement :

1° Sondages impairs traités en premier lieu :

1) . . .	2190	kilogrammes
3) . . .	6100	»
5) . . .	9050	»
7) . . .	7350	»

2° Sondages pairs traités en deuxième lieu :

2) . . .	16300	kilogrammes
4) . . .	1500	»
6) . . .	600	»
8) . . .	6100	»

3° Sondages bis :

1 bis) . . .	1900	kilogrammes
3 bis) . . .	850	»
4 bis) . . .	2800	»
5 bis) . . .	1200	»
6 bis) . . .	350	»
7 bis) . . .	3550	»

4° Sondage central (n° 9) :

d'abord 5250 kilogrammes au début des travaux,

puis 1100 kilogrammes après traitement de tous les sondages.

Au total 65 tonnes environ.

De cette quantité, une grosse partie a certainement remonté dans les craies en communication directe avec les rabots : mais l'injection n'en a pas moins rempli son but en obturant les fissures d'alimentation des rabots et en diminuant conséquemment le débit de ceux-ci.

Lorsque les venues qui étaient de l'ordre de 4 à 6 mètres cubes par sondage eurent été abaissées à moins de 150 litres à l'heure, on eut recours à l'emploi d'explosifs, suivant ce qui avait été une première fois appliqué par M. Richir au siège Ste-Marguerite à Ressaix (1). Toutefois, dans ce premier cas, le minage avait été opéré de la surface avant toute injection des rabots.

Ici, chaque sondage reçut une charge allongée de 600 à 800 grammes de dynamite placée sous le niveau des bancs de silex.

La charge était renfermée dans un tube de zinc du type de ceux qui servent à la protection des câbles et fils électriques (tubes Bergmann). L'explosion, en fissurant les silex, devait mettre le sondage en communication avec des venues non touchées primitivement et renseigner, en outre, sur les résultats de la cimentation.

L'augmentation des venues d'eau après minage fut peu considérable, comme on le verra au tableau ci-dessous. L'explosion du n° 3 eut pour effet de diminuer fortement la venue du sondage central, qui resta ouvert jusque vers la fin des travaux. Manifestement on avait retrouvé là une fissure d'alimentation du centre du puits.

Nous ajouterons à cette courte note les diagrammes des venues d'eau par les sondages (fig. 6 et 7). Les profondeurs sont portées verticalement, et les venues d'eau horizontalement en abscisses.

Les venues d'eau cumulées pour une passe de sondage sont représentées par une ligne brisée qui s'écarte d'autant plus de l'axe V = O que la venue est plus grande.

A un moment donné, on arrête le sondage et on l'injecte. Le tonnage injecté est indiqué par un chiffre placé à gauche et au bas de la ligne brisée. Une étoile indique le moment du minage.

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*. Tome XXII, 4e livrais., p. 1151.

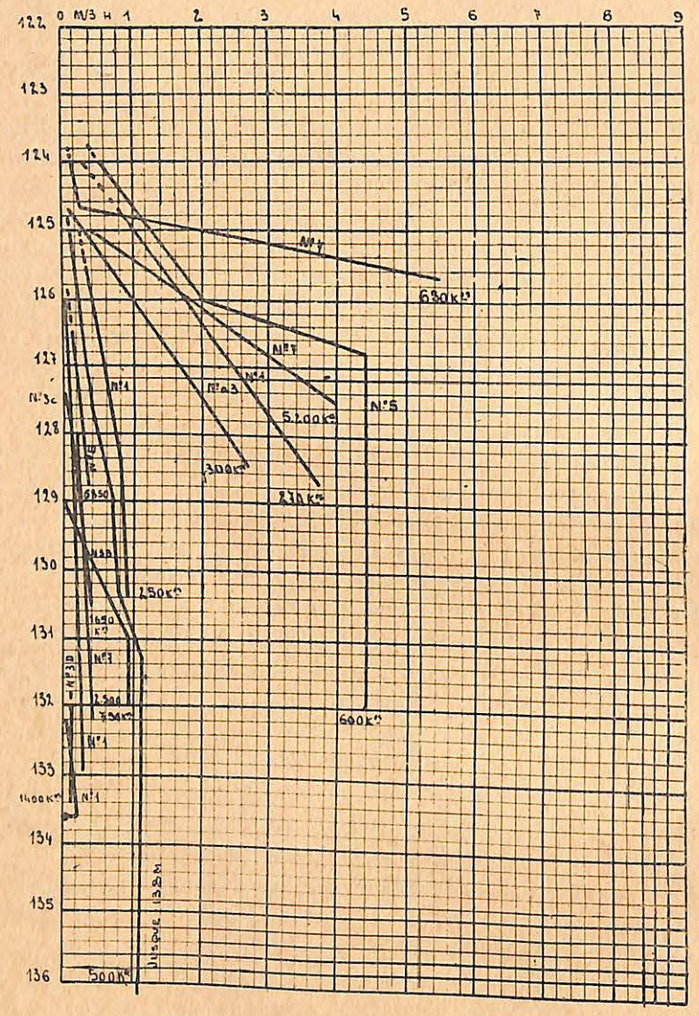


DIAGRAMME DES SONDAGES N° 1. 3. 5 ET 7

FIG. 6.

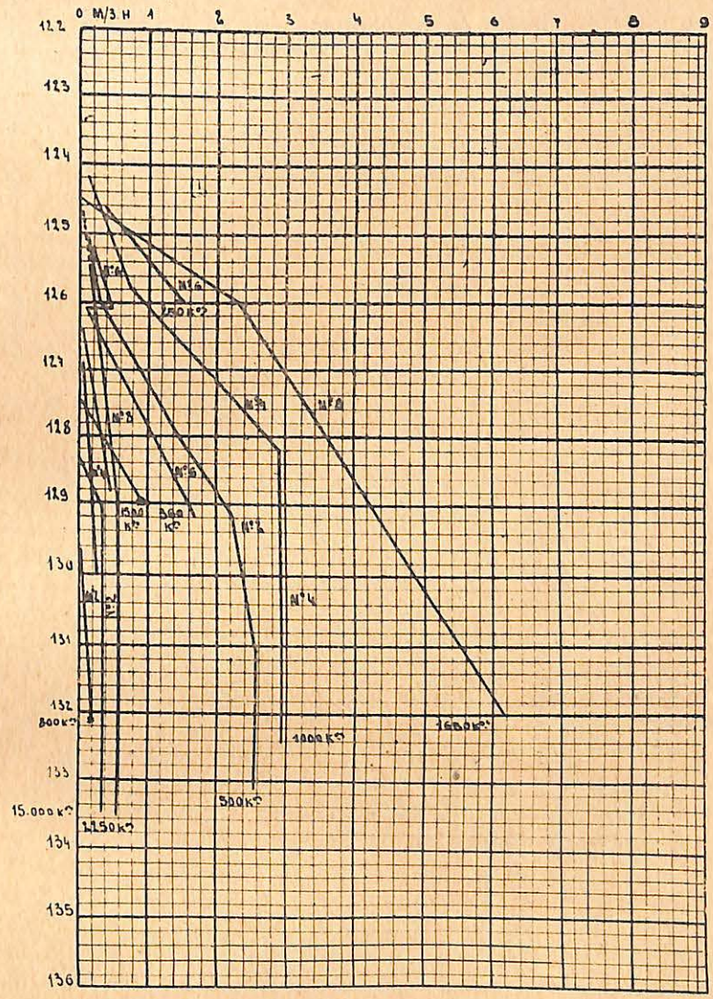


DIAGRAMME DES SONDAGES N° 2. 4. 6 ET 8

FIG. 7.

Sondages	Venues avant minage	Venues après minage	Dernière injection
	mètre cube à l'heure	mètre cube à l'heure	Kilogrammes
1	0	0,1	550
2	0,178	0,1	800
3	0	0,8	300
6	?	0,09	150
7	0,355	0,29	750
8	?	0,092	1500
Central	0,117	0,218	200

Le minage fut, chaque fois, suivi d'une dernière injection à forte pression.

Quant au sondage central, ainsi qu'on le verra au diagramme (fig. 8), il fut foré le tout premier jusque 125^{m},50 et injecté. Reforé ensuite jusque 127^{m},40 au cours de la cimentation des huit premiers trous. On ne l'injecte pas et la venue d'eau décroit progressivement de 2,6 mètres cubes à zéro. On l'approfondit encore jusqu'à 133^{m},50 où la venue d'eau dépasse 1^{m},50 cube, puis reste stationnaire. Elle décroit lentement jusque 1 mètre cube.

Les autres sondages étant presque terminés, on y injecte 1.500 kilogrammes de ciment, on le refore, on le fait sauter et on l'injecte une dernière fois.

Ces résultats furent jugés satisfaisants, et bien qu'on eût la certitude de trouver encore de l'eau dans les rabots, on reprit le fonçage, espérant que la venue serait suffisamment faible pour permettre un fonçage plus économique qu'une prolongation des travaux de cimentation.

Effectivement, on atteignit sans peine le niveau de 126 mètres ; mais sous un banc de dièves de 0^{m},30 environ qui barrait les rabots à cette profondeur, on trouva quelques petites venues (environ 3 ou 4) qui, bien que légères, s'ajoutèrent aux suintements du rabot.

En touchant le houiller, la venue qui s'était arrêtée à 3,5 mètres cubes par heures environ, augmenta presque à 5 mètres cubes par suite des injections des rabots à forte pression au puits n° 2 que l'on traitait en ce moment, la hauteur de terrains découverts était de 17 mètres, dont près de 8 mètres de rabots.

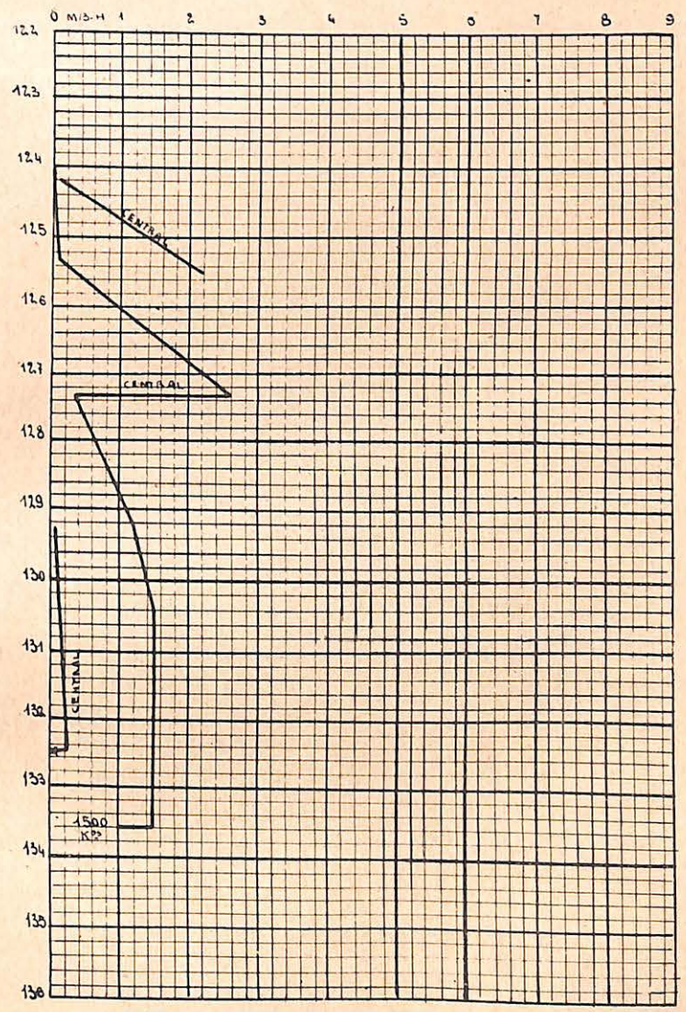
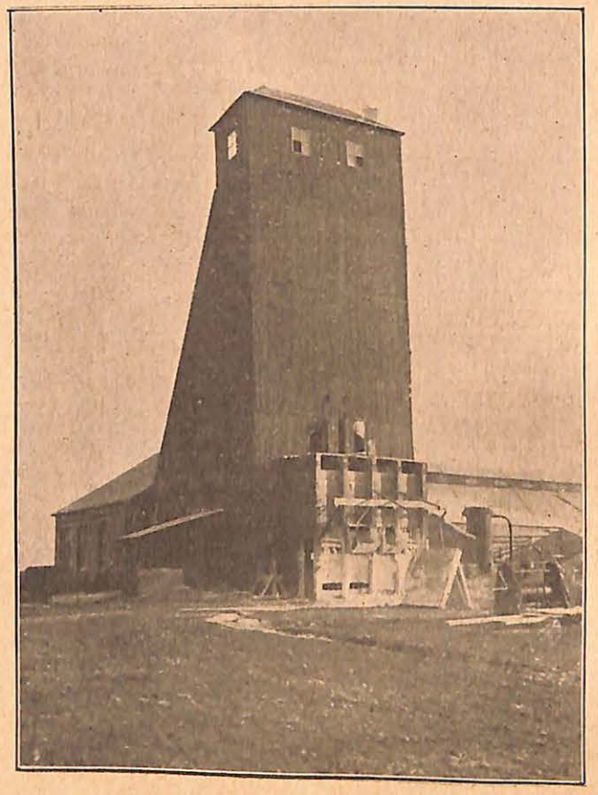


DIAGRAMME DU SONDAGE CENTRAL

Fig. 8.



LE PUITS No 1, EN NOVEMBRE 1921.

Vue montrant les trémies à déblais.

Sans vouloir aucunement se flatter des résultats obtenus, il nous semble qu'il y a lieu d'être très satisfait de cette réduction de la venue d'eau, si l'on considère d'abord la nature essentiellement compliquée des réseaux aquifères des rabots, la dureté exceptionnelle de ceux-ci, le manque de cassures proprement dites, et surtout la présence de petits conduits caverneux dont le tracé est essentiellement irrégulier, et qui sont pour la plupart isolés les uns des autres.

La venue d'eau, rien que par les sondages de 45 millimètres de diamètre, atteint 50 mètres cubes au total, ces 50 mètres cubes ne représentent qu'une fraction de la venue qui se serait produite si l'on avait découvert le terrain, par une excavation de 6 mètres de diamètre et de la hauteur de la passe, et bien que l'on ne puisse dans les rabots présumer de la venue que l'on eût rencontrée sans cimentation, il y a tout lieu de croire que plus de 95 % des eaux ont été contenues par elle.

Si l'on compare enfin avec des essais de cimentation effectués ailleurs, il y a lieu d'affirmer que les rabots, réputés incimentables, ont été traités avec succès à Estinnes-au-Val, et que l'expérience ainsi acquise de ces terrains éminement ingrats pourra porter de plus beaux fruits dans l'avenir.

Elle consacre d'une façon particulière d'abord l'emploi de réactifs spéciaux par la silicatisation et ensuite l'utilisation d'explosifs dont le mérite de la découverte revient à M. Richir.

Renseignements chronologique sur les travaux de cimentation.

PUITS N° 1.

1921 Décembre, le 9 : sondage central.

Du 10 au 17 : Construction de la plate-cuve. Nombreux retards par suite du mauvais fonctionnement des pompes.

Du 19 au 29 : Période de repos pour prise du béton.

Le 26 décembre : Injection du sondage central. Début des travaux.

1922 Du 26 décembre 1921 au 30 janvier 1922 : Travaux de cimentation.

Soit 31 jours de travail à 3 postes (moyenne de 10 hommes.)

Nombreuses interruptions dues aux mauvaises conditions de fonctionnement des pompes d'exhaure ; il faut plus d'une fois arrêter les sondages ou distraire une bonne partie des hommes pour faire l'épuisement au cuffat.

Après revêtement la venue pour les 130 mètres supérieurs (morts-terrains) est inférieure à 200 litres à l'heure.

CHAPITRE III

Cimentation des rabots au puits n° 2.

Pour éviter la possibilité d'une rupture du fond de craie sous la pression d'eau des rabots, chose qui s'était produite au puits n° 1, à la cote de 118 mètres (à 6 mètres des rabots) nous avions décidé de nous placer plus haut au puits n° 2, à la cote de 110 mètres et de construire un fond en béton non armé de 2 mètres, ce qui nous reportait à 108 mètres.

Les rabots étant à 122 mètres, cela nous donnait 14 mètres de stot, de terrains crayeux mais durs.

Pour laisser le fond libre et permettre une accumulation des eaux ainsi que la décantation des boues de sondage, nous avions disposé seize tubages de 100 millimètres noyés entièrement dans la paroi en béton du puits, légèrement inclinés et de 7^{m},50 de longueur ; l'origine du tubage était à 102 mètres, la base vers 109^{m},40, l'inclinaison de 1/16e environ. Le raccord de ce tubage de 100 millimètres aux tubages de 2" se faisait par des réductions de 3 à 2".

Les travaux furent commencés le 17 février en sondant d'abord sur les trous impairs, au « Bolide » de 80 millimètres.

Dès 122 mètres, nous touchions les premiers bancs de silex, qui donnaient, entre 122 mètres et 123^{m},50, des venues variant de 2^{m},5 à 14^{m},5 mètres cubes à l'heure, par sondage.

Signalons que les sondages 7 et 3 rencontrèrent vers 122^{m},50 des poches de sable gris grossier, fortement calcareux, qui dès qu'elles étaient touchées refoulaient les tiges et bouchaient le sondage.

Ces poches se vidèrent assez rapidement et l'on n'eut pas d'autres inconvénients. Le fonçage révéla cependant la présence de très fortes poches de sable très boulant et aquifère.

Le travail au marteau était peu rapide d'abord à cause de la disposition des sondages qui ne permettait l'accès aux outils que d'un côté.

Mais, en outre, à cause de la trop grande distance du marteau au banc de silex, ainsi que de la trop grande largeur du tubage, les tiges mal guidées fléchissaient, le marteau frappait à faux, et dès que l'on touchait un banc dur on n'avançait plus.

Sur les huit sondages le n° 3 atteignit 126^{m},70, le n° 9 la profondeur de 127 mètres, et le n° 11 entra dans les dièves vers 131 mètres.

Les autres sondages avaient à peine entamé les rabots sur 1 mètre.

Entretemps les travaux furent interrompus pendant le mois de mars à cause d'un accident au compresseur.

On travailla avant et après l'interruption pendant trente-neuf postes (soit treize jours effectifs) pour les sondages et les injections. Les effectifs de ces postes — surveillant compris — étaient de sept hommes en moyenne, parfois quatre.

Ci-dessous, un tableau renseignant :

a) les venues d'eau ;

b) les quantités de ciment injectées.

Sondages	Profondeur maximum	Venues totalisées	Ciment total injecté
	mètres	m^3 par heure	Kilogrammes
1	123,65	4,15	7.950
3	126,70	8,2	3.200
5	124,65	18,3	4.300
7	123,85	9,2	7.800
9	127,00	1,29	1.750
11	131,25	8,0	2.750
13	123,65	2,7	2.500
15	123,50	2,2	350

Ces venues sont notablement supérieures à celles rencontrées au puits n° 1.

Une bonne partie du ciment injecté peut être considéré comme n'ayant obturé réellement que les terrains crayeux intermédiaires bien qu'aucune venue d'eau n'y ait été constatée.

Dans les conditions où nous travaillions, la cimentation ne pouvait progresser que lentement et il fallut changer rapidement le mode d'opération.

Le 5 avril, je faisais arrêter et reforer de nouveaux sondages au fond du puits même, dans des conditions identiques à celles du puits n° 1.

On perça d'abord cinq trous, numérotés 1, 3, 5, 7, 9, sur une circonférence de 4 mètres de diamètre ; tubés sur 2 mètres au travers

de la plate-cuve, avec des tuyaux de 2″, et scellés au ciment. L'inclinaison était sensiblement de 80°, de façon à recouper le cylindre vertical de 6 mètres de diamètre à terre nue, vers la profondeur de 122 mètres.

La cote d'origine des tubages était à 107 mètres,

Le 7 avril nous recommençions à sonder.

Bien que cette fois-ci nous fussions gênés et par l'accumulation des eaux au fond du puits et par les arrêts continuels de la pompe d'épuisement, ce qui forçait à arrêter très souvent le travail de sondage et à faire les eaux au cuffat, nous pûmes obtenir de suite de meilleurs résultats.

Le travail se fit simultanément sur les cinq trous impairs dont le n° 9 fut perdu à 131m,70 et remplacé par le n° 9*bis*.

Les venues d'eau se produisaient surtout depuis la tête des rabots jusque 127 mètres. Au delà de 128 mètres le terrain semble plus étanche et l'on retrouve les dièves à 130m,50.

Ci-dessous un tableau des sondages :

N° des sondages	Profondeur maximum	Venue maximum rencontrée	Venue totalisée pr chaque sondage	Ciment injecté
	mètres	mètres cubes	mètres cubes	Kilogr.
1	132,10	2,4	2,4	4.600
3	132,20	8,64	14,—	5.000
5	132,20	3,94	4,—	6.550
7	132,70	8,65 descend à 1,08 sans injection	8,65	1.000
9	131,70		8,7	2.000
9 bis	126,10	3,3	5,5	13.750
Totaux pour les six sondages . .			43,25	32.900

Après ces injections les venues, pour la hauteur totale des sondages jusque 122 mètres, avaient été réduites aux chiffres indiqués dans le tableau suivant. Les sondages furent minés vers 126 mètres au moyen d'une charge allongée de 7 à 800 grammes de dynamite puis réinjectés.

Le n° 5 fut réapprofondi, reminé et injecté une dernière fois.

VENUES EN LITRES A L'HEURE

Sondages	Avant minage	Après minage	Ciment injecté
	Litres	Litres	Kilogrammes
1	0	360	850
3	0	400	450
5	*a*) 0	5.400	825
	b) 60	110	475
7	240	360	2.670
			5.270

Il fut toujours fait usage de produits chimiques pour les injections. Les pressions varièrent entre 60 et 115 kilogrammes.

Entretemps, vers la fin de ce travail on entama le forage des trous pairs nos 2, 4, 6, 8, 10, entre les trous impairs.

Tubés à 2 1/2″, ils permirent l'emploi de 2 dimensions de trépans soit 2 1/4″ et 1 3/4″.

Les sondages pairs furent approfondis, injectés et minés comme les sondages impairs.

Sondages	Profondeur maximum	Venues maximum	Venues totalisées	Ciment injecté
	mètres	mètres cubes	mètres cubes	Kilogrammes
2	132,60	1.73	1.73	6.500
4	126,30	3.6	6.2	11.700
	perdu voir 4 bis			
6	132,60	2.6	5.—	5.700
8	132,60	3.3	3.3	4.300
10	133,10	2.54	3.—	18.250
Totaux			19.23	46.450

Dans l'un comme dans l'autre tableau, les totaux des venues d'eau sont à dessein *sous*-estimés, étant donnée la difficulté des jaugeages, et ce, pour être absolument certain de n'exagérer aucun chiffre.

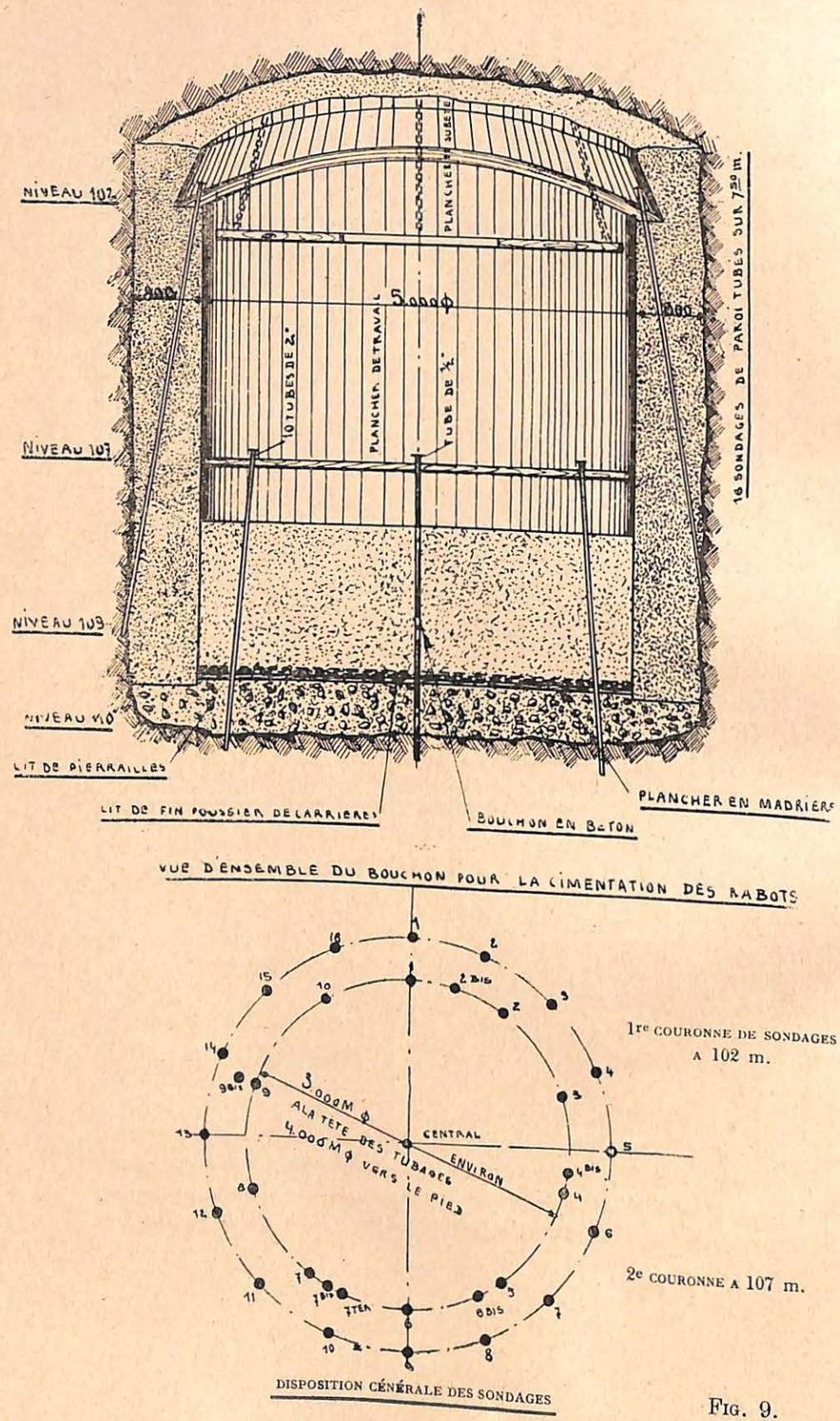


FIG. 9.

Pour le n° 6 seul, le minage a produit une forte augmentation des venues, de 110 litres à 1.720 litres à l'heure. Mais par contre comme on le verra dans le tableau figure 9 suivant le 6*bis* est entièrement sec.

Quelques sondages supplémentaires furent percés à des profondeurs variables, soit pour remplacer un sondage qui n'avait pas donné satisfaction, soit pour explorer des régions dans lesquelles on craignait des venues ignorées.

Sondages	Profondeur	Venues totales	Ciment injecté
	mètres	mètres cubes	Kilogrammes
2 bis	127,30	4	4.250
4 bis	132,60	1.3	700
6 bis	127,50	0	500
7 bis	126,00 perdu	0	0
7 ter	126,00	1.2	4.100
	Total . . .	6.5	9.550

Quant au sondage central il fut impossible de le porter au delà de la profondeur de 125m,10 à cause de la dureté exceptionnelle des silex. Après avoir traversé le petit banc de dièves et de sable (30 centimètres environ) vers 123m,60 (banc qui, au n° 1, se retrouve vers 125m,50) il toucha vers 124m,80 une forte venue locale. Avant d'avoir atteint cette profondeur il avait du reste été miné sans donner d'eau du tout.

Après injection à 110 kilogrammes de pression, on décida d'arrêter les travaux.

Si maintenant on se reporte à l'ensemble des tableaux on peut dresser la liste suivante, dans l'ordre de traitement :

	6 sond.	impairs ayant rencontré	43 m³	d'eau et reçu	38,170 kgs	de ciment
	5 »	pairs »	19,23	»	46,450	»
	6 »	supplément. »	8,5	»	10,800	»
		(y compris central	———		———	
Au total	17 »	»	70,7 m³	»	95,420	»

A ceux-ci il faut ajouter les 8 sondages dans la paroi, qui recoupèrent 65,65 m³ d'eau et reçurent 30.600 kilogrammes de ciment.

soit au total 25 sondages (dont 15 dépassèrent 127 mètres) qui ont rencontré 65,65 + 70,7 = 136 mètres cubes d'eau et reçu 125.700 kilogrammes de ciment; tous ces chiffres sont notablement supérieurs à ceux du puits n° 1 (50 mètres cubes d'eau et 65 tonnes de ciment.) Les pressions d'injection furent également beaucoup plus fortes qu'au n° 1.

10 sondages n'ont pénétré que de peu dans les rabots, suffisamment toutefois pour influencer la tête de ce terrain qui est le plus aquifère.

D'une façon générale les venues se trouvent au-dessus du niveau de 127 mètres. De nombreuses venues constatées plus bas pourraient bien être dues à l'ouverture des canaux d'amenée des eaux, soit par éboulement de terrain (du fait du battage des tiges) soit par leur extension sous l'effet des pressions d'injections voisines.

On peut estimer à juste titre que les venues totales rencontrées par ces quelques sondages de 136 mètres cubes environ, sont bien des venues isolées.

Même approximativement il est difficile de se faire une idée de la venue que l'on aurait eue sans cimentation, car les rabots ne sont pas des terrains prêtant à beaucoup de raisonnements. Il est probable qu'il eut été très difficile si pas impossible de foncer à niveau vide, et c'est la seule chose qu'il importe de constater pour se rendre compte de la nécessité de la cimentation. Il convient en effet de remarquer qu'un terrain qui livre 136 mètres cubes d'eau à l'heure par 25 sondages dont 15 seulement le traversent totalement donnera beaucoup plus d'eau lorsqu'on y fera une excavation. La venue en effet varie en raison directe de la section des orifices ou voies d'écoulement qui lui sont offertes.

Ainsi qu'au n° 1, nous pouvons répéter quelques remarques au sujet de la nature caverneuse des rabots et de la conformation particulière des voies de circulation des eaux. Les réseaux qui les sillonnent en tous sens sont la plupart du temps indépendants les uns des autres, et la preuve en est que jamais du ciment n'a repassé, en cours d'injection, par un sondage voisin, si ce n'est lorsque le massif de craie de Saint-Vaast et de Maisières cédait sous la pression d'injection.

D'un autre côté, il est probable que la détonation de 7 à 800 grammes de dynamite avec seulement 20 mètres de bourrage d'eau ne disloquait pas les silex fort loin, et cependant les venues augmentent parfois très fort, ce qui est la preuve qu'à côté des eaux rencontrées

il y en a d'autres peut-être à 40 ou 50 centimètres de distance, tout à fait isolées.

C'est probablement à cette circonstance que le sondage central et le n° 2*bis* doivent d'avoir recoupé, vers 124^{m},50, une venue relativement importante qui avait échappé durant tout le cours du travail.

Les observations que nous consignons dans cette courte note sont les mêmes que celles indiquées dans la note sur le puits n° 1.

Au fonçage la venue totale pour toute la passe n'a pas dépassé les 8 mètres cubes à l'heure, soit moins de 6 % du total des venues par les sondages.

Ci-dessous nous donnons un schéma montrant la répartiton des venues d'eau :

Bouchon en béton. . . .		
Craies	sèches.	
Rabots	peu d'eau.	1,5 m³ à l'heure.
Bancs de dièves		
Poches de sable boulant . .	venues principales : 6 m³ à l'heure.	
Rabots	peu d'eau.	
Fortes-toises	id.	
	Venue totale évaluée à 8 m³ à l'heure pour toute la passe.	
Houiller.	Sec.	

Toute la passe fut revêtue au moyen d'un cuvelage en béton armé, suivant le système François à tôles de fond. Après injection, ce cuvelage donne actuellement, pour les 136 mètres de morts-terrains, moins de 300 litres à l'heure.