

369-438

SERVICE DES ACCIDENTS MINIERS ET DU GRISOU

---

QUELQUES MOTS SUR LE DÉVELOPPEMENT RÉCENT

DU

# Creusement des Puits par Congélation

ET SUR LA

## Sécurité dans le Fonçage des Puits

PAR

**Ad. BREYRE**

Ingénieur au Corps des Mines, à Bruxelles,  
Attaché au Service des Accidents miniers et du Grisou.

---

### AVANT-PROPOS (1)

La mise à fruit des richesses minières découvertes au cours de ces dernières années dans le sous-sol de la Belgique, généralement à grande profondeur, donne un grand intérêt d'actualité à la question du creusement des puits et notamment, pour ce qui concerne la Campine surtout, au creusement par procédés spéciaux.

Soucieux de signaler tous renseignements utiles résultant des creusements en cours ou récemment effectués, d'attirer

---

(1) Par VICTOR WATTEVNE, Inspecteur général du Service des Accidents miniers et du Grisou.



l'attention sur les dangers inhérents à ces sortes d'ouvrages et de suggérer les moyens de les combattre, le *Service des Accidents miniers et du Grisou* a jugé opportune une publication sur la matière.

Cette opportunité est d'autant plus grande que l'application des prescriptions de l'arrêté royal du 10 décembre 1910, ayant trait précisément à cet objet, est prochaine, et que des difficultés particulières naîtront nécessairement des grands travaux en cours ou projetés.

M. l'Ingénieur Breyre, qui, dans ces derniers temps, notamment à l'occasion de l'Exposition de Bruxelles (1), a étudié et suivi de près les travaux de ce genre, a été chargé de poursuivre cette étude.

Il l'a fait dans la notice qu'on va lire. Dans cette notice il s'est occupé spécialement du creusement des puits par congélation, analysant notamment un mémoire d'un haut intérêt présenté par M. Zaeringer au Congrès de Dusseldorf, et y ajoutant nombre de constatations personnelles.

Le procédé de la congélation paraît, en effet, destiné à recevoir, dans nos prochains creusements de puits, les applications les plus importantes.

Cependant bien des observations présentées et des indications signalées sous le rapport de la sécurité, sont d'application plus générale, et sont, pensons-nous, de nature à rendre des services, pour aider à résoudre divers problèmes relatifs à la sécurité du travail dans le creusement de puits par tous procédés.

V. W.

(1) Voir sa notice sur *Les creusements de puits spéciaux en morts-terrains aquifères* dans la notice explicative de l'exposition collective des Charbonnages de Belgique, *Annales des Mines de Belgique*, t. XV, et *Revue Universelle des Mines, etc.*, 4<sup>me</sup> liv., t. XXX, et son étude sur les *Mines à l'Exposition de Bruxelles 1910* (Dunod et Pinat, Paris).

Considéré en lui-même, le procédé de congélation a, en somme, subi peu de modifications depuis son apparition ; il est resté, dans ses grandes lignes, tel que Poëtsch l'utilisa en 1883 au puits Archibald à Schneidlingen. Par contre, le développement qu'il a pris, a reporté sa limite d'application bien au-delà de ce que pouvaient prévoir les plus optimistes il y a quelques années. Lorsqu'en 1898 les puits du siège d'Harchies des charbonnages de Bernissart furent entrepris par congélation pour une profondeur de 236 mètres, la chose était considérée à juste titre comme très hardie, car, après 15 ans d'existence du procédé, ces puits étaient les premiers à atteindre semblable profondeur : avant eux, on n'avait pas dépassé 125 mètres.

Aujourd'hui, les applications à 200 mètres de profondeur sont considérées comme l'enfance de l'art en la matière ; en Belgique, la profondeur de 330 mètres est atteinte actuellement au Levant-du-Flénu et, pour la plupart des puits en préparation de la Campine, la profondeur de congélation approche ou dépasse 400 mètres. En Allemagne, les deux puits de la *Gewerkschaft Lohberg* que la Société *Deutscher Kaiser* a établis près de Dinslaken ont atteint la profondeur de 415 mètres.

Ce développement a été signalé au Congrès international des Mines et de la Métallurgie tenu à Dusseldorf en 1910 par M. Zaeringer, directeur de la *Tiefbau- und Kältindustrie* (ancienne firme Gebhardt et König), de Nordhausen. *L'Osterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, dans ses trois derniers numéros de 1910, a reproduit l'étude de M. Zaeringer, qui contient des renseignements utiles que nous voulons analyser en appuyant plus spécialement sur certains points visant la sécurité.



M. Zaeringer, après avoir rappelé le principe du procédé de creusement des puits par congélation et, dans ses grandes lignes, son application pratique, entre dans quelques détails auxquels sa grande expérience prête un intérêt particulier :

Pour juger de la fermeture du mur de glace, on sait que l'on utilise les indications du niveau de l'eau dans l'avant-puits ou, plus généralement, dans le sondage central pratiqué dans l'axe du puits : lors de la fermeture, la colonne d'eau s'élève par suite de la dilatation prise par la base. Pour éprouver la résistance du bouchon de glace, on peut relever artificiellement le niveau de l'eau; si, malgré cette surpression, l'eau continue à monter, on peut généralement commencer le creusement sans danger.

Les terrains se comportent très différemment; M. Zaeringer attribue aux sables saturés d'eau la plus grande rapidité et facilité de congélation, tandis que l'argile se congèle beaucoup plus lentement, sans atteindre cependant la difficulté qu'offre le lignite à cause de sa mauvaise conductibilité de la chaleur.

La résistance du mur de glace varie d'ailleurs d'après les terrains et l'on admet généralement les chiffres suivants :

	Résistance en Kg par cm <sup>2</sup>	A la température de
Sable saturé d'eau. . . . .	138	-15° C.
Sable saturé d'eau. . . . .	200	-25° C.
Argile sableuse. . . . .	90	-15° C.
Argile assez pure . . . . .	72	-15° C.
Glace pure . . . . .	18	-17° C.

On voit que la glace pure a une résistance beaucoup plus faible que la glace mélangée de sable et d'argile; ce qui prouve que la glace ne sert que de liaison, de mortier, entre les particules des terrains congelés; il est probable que la grandeur et la forme du grain joue un rôle dans la solidité du mur de glace.

D'autres données intéressantes sont citées par M. Zaeringer; elles sont basées sur des essais faits en vue de l'application de la congélation à l'établissement de fondations maritimes. Les éprouvettes prélevées ont donné les résultats suivants :

	Température en degrés Celsius					
	-20°	-15°	-10°	-20°	-15°	-10°
	à la compression			à la traction		
Argile à la fouille de l'écluse . . .	50	37	24	39	33	22
Sable fin à mortier, saturé d'eau .	141	133	87	52	39	20
Id. saturé aux $\frac{3}{4}$	136	106	77	23	22	15
Id. id. à moitié	109	62	52	33	16	7
Sable de dragage fin, lavé . . .	185	163	142	32 <sup>(1)</sup>	33	21
Mélange moitié gravier, moitié sable . . . . .	150	109	100	—	—	—
Mélange $\frac{1}{4}$ gravier, $\frac{3}{4}$ sable . . .	146	106	95	—	—	—

Ces expériences peuvent prétendre à un grand degré d'exactitude, car la salle elle-même où se trouvaient les appareils d'essai, était maintenue à une température de -16° C.

Vu les difficultés spéciales des essais à la traction (les éprouvettes se fendent sous la pression des pinces), les chiffres indiqués pour la résistance à la traction ne présentent pas toute garantie.

Ces chiffres, qui résultent d'une moyenne de dix essais, sont surtout intéressants pour les *argiles*; car pour les sables existaient déjà des données expérimentales. Un point digne de remarque est que l'argile possède, comparative-

(1) Les publications du Congrès de Dusseldorf portaient le chiffre de 12, reproduit dans l'*Oesterreichische Zeitschrift*. Comme ce chiffre nous avait paru anormal, nous en avons écrit à M. Zaeringer qui nous confirme qu'il y avait erreur, 32 étant le chiffre exact.



ment à sa résistance à la compression, une résistance à la traction proportionnellement plus forte que les sables. Une observation générale, c'est que la résistance croît avec l'augmentation du degré de froid, circonstance favorable pour les creusements profonds où nous disposons, jusqu'à un certain point, du *froid* pour contrebalancer l'augmentation de pression.

L'abaissement de la température ne va pas sans augmenter le risque de rupture des circuits, naturellement; récemment en Allemagne, on a néanmoins réussi à abaisser la température du liquide réfrigérant à  $-40^{\circ}$ , pour congeler même les dissolutions de chlorure de sodium qu'on peut rencontrer dans les terrains. Un premier essai, tenté aux Kaliwerke Niedersachsen, à Wathlingen bei Celle (Hanovre), en 1906, échoua par suite de divers mécomptes, ruptures de circuits, variations très brusques de températures, etc. Il fallut achever le puits par le procédé Kind-Chaudron. Le second essai, tout récent (1909-10), fut couronné d'un plein succès: au puits de la Kaliwerke Prinz Adalbert bei Oldau (Hanovre), la congélation était en cours avec une machine à ammoniaque ordinaire; lorsque le creusement arriva à 95 mètres de profondeur, une forte venue d'eau se fit jour dans du gypse fissuré et remplit le puits: l'eau contenait 25 % de NaCl au fond et 18 % près de la surface. La firme Haniel et Lueg décida d'employer le *Tiefkälteverfahren*, le procédé à froid intense pour essayer de donner une traduction littérale. A côté des machines à glaces existantes, on monta une installation frigorifique à acide carbonique. On commença à travailler d'abord à faible pression; la solution réfrigérante était du  $\text{CaCl}_2$  (encore fluide à  $-50^{\circ}$ ); plus tard (août 1909), la compression fut portée à 58 atmosphères. Au 18 octobre 1909, le mur de glace était fermé; la température atteinte au départ de la solution était  $-43^{\circ}$ , au retour,  $-37^{\circ}$ . Au

15 janvier 1910 on reprit l'enfoncement; la température au fond était  $-30^{\circ}$ . De 104 à 120 mètres, on traversa la couche salifère; au 5 août 1910, le puits atteignait 150 mètres et était continué par les procédés ordinaires (voir STEGEMANN, n° du 21 janvier 1911 du *Zeits. des Vereines Deuts. Ingen. et Festchrift zum XI Allgem. deutsch. Bergmannstage in Aachen*). Le point essentiel dans ce procédé à froid intense est d'avoir une installation frigorifique à l'abri de tout accroc, si minime soit-il.

Le creusement en terrain congelé se fait à sec et à l'aide d'explosifs; M. Zaeringer, outre les précautions élémentaires qui sautent aux yeux (bourrages modérés, prohibition du minage aux parois), recommande l'usage d'*amorces à temps*, qui diminuent sensiblement l'effet nuisible de la pression de l'air et, en plus, rendent possible un excellent contrôle en cas de raté.

L'auteur entend-il disposer les amorces de façon à ce que les coups partent l'un après l'autre, en ménageant, entre l'amorce électrique et le détonateur, des bouts de mèche de longueurs croissantes pour chaque mine. Evidemment ce système permet, en comptant le nombre de détonations, de se rendre compte de l'existence d'un raté: mais n'introduit-on pas, par ces mèches, tous les dangers de long-feu qui leur sont inhérents et le départ des premières mines ne court-il pas grand risque de détériorer l'amorçage des mines voisines? M. Zaeringer nous écrit qu'il a employé avec succès, depuis des années, les amorces à temps disposées de façon que les coups se succèdent à un intervalle un peu moindre qu'une seconde.

Quant au choix de l'explosif à utiliser en terrain congelé, M. Zaeringer estime que les recherches ne sont pas achevées, vu l'apparition continuelle de nouveaux mélanges sur le marché; il se borne à énumérer deux qualités essentielles de l'explosif à choisir: son insensibilité à la



gelée et la conservation de sa puissance à ces faibles températures (1).

La question du revêtement provisoire des puits en terrain congelé a provoqué des divergences de vue; M. Zaeringer estime, d'une façon générale, que tout revêtement est inutile; « il manquerait du reste son but, c'est-à-dire de garantir contre une irruption imprévue de sables mouvants car, dans une telle éventualité, il ne pourrait offrir aucune protection contre le fait et ses conséquences. Au contraire il pourrait, en cas de chute du garnissage, qui viendrait à perdre, par dégel, tout appui et calage, devenir plus fatal encore que le commencement d'une irruption de sables mouvants, pour l'équipe d'ouvriers travaillant au fond du puits.

» Un autre inconvénient du revêtement provisoire est de rendre impossible le contrôle des parois de la partie déjà creusée : de petites fuites, conséquence d'un défaut d'étanchéité d'un joint de tube congélateur, peuvent ne pas être remarquées et provoquer à la longue une catastrophe, alors qu'il eût été facile d'y parer à leur origine (2).

(1) Dans les premières applications on fit usage de poudre noire; à Bernissart, ce fut encore le cas; plus tard on eut recours à des explosifs détonants, de brisance modérée, en excluant ceux à base de nitroglycérine. A présent que l'on fabrique des dynamites incongelables, insensibles à la gelée sous des températures de  $-13^{\circ}$ , cette interdiction ne nous paraît plus nécessaire. Nous avons vu employer sans mécompte des dynamites de ce genre, par un hiver très rigoureux, aux travaux de creusement d'une ligne de chemin de fer en Ardenne.

(2) Dans une lettre qu'il nous adresse, M. Zaeringer appuie encore sa manière de voir des considérations suivantes : s'il n'y a pas de revêtement provisoire, le début d'une irruption de sables ou d'eau sera remarqué à temps non seulement pour sauver l'équipe, mais encore pour remplir le puits de matériaux ou d'eau en vue de créer une contrepression.

Au contraire, s'il y a un revêtement, on remarquera généralement trop tard la dissolution du mur de glace et le puits sera obstrué par la chute du garnissage; dans ces conditions on rencontre de grosses difficultés à enlever ce revêtement enchevêtré, pour rendre possible dans la suite le travail d'épuisement. M. Zaeringer préfère, lorsque les terrains donnent des appréhensions, diminuer la hauteur des passes de cuvelage et même poser les anneaux suspendus, en descendant.

» Les avis semblent, du reste, partagés sur ce point, puisque, malgré les objections énumérées ci-dessus, l'Administration des mines, dans certains districts, persiste à imposer un revêtement provisoire. »

L'opinion de M. Zaeringer nous paraît un peu trop absolue; faisons remarquer d'abord que le revêtement provisoire n'a pas pour but de parer à une irruption de sables mouvants: si tel était le but à atteindre, il faudrait poser le cuvelage définitif en descendant, par anneaux suspendus.

Le revêtement provisoire a bien plutôt pour but d'empêcher la chute de fragments ou de blocs qui viendraient à se détacher des parois et à s'abattre sur les ouvriers occupés au creusement. Assez souvent, les passes de cuvelage sont d'une centaine de mètres de hauteur, de sorte que la surface de roche à nu peut être considérable.

La question du revêtement provisoire est avant tout une question de circonstances locales, de terrains: généralement, les terrains à grains saturés d'eau, tels que les sables et certaines craies, se maintiendront sans revêtement sans qu'aucun éboulement ou simple chute de bloc soit à redouter, et ce d'autant plus que le givre, qui ne tarde pas à recouvrir les parois à nu, cimente les petites parcelles mal détachées par l'outil du mineur. Par contre, certains terrains argileux-schisteux, en masses compactes séparées par des cassures lisses dépourvues d'eau, peuvent très bien donner lieu à des éboulements et nécessitent ainsi un revêtement provisoire. Récemment, dans un puits en creusement en Belgique, le fait a été encore douloureusement mis en lumière par un accident survenu à la tête du terrain houiller. La chose est très naturelle dans ces terrains dépourvus d'eau et échappant par le fait même à la cimentation que provoque la congélation. Par contre, les puits de Harchies en 1898-1903, le puits n° 9 du Grand-Hornu, lors de la réfection des 60 mètres supérieurs en



1906, les puits de Thieu en 1908-10, ont été creusés sans aucun revêtement et sans donner aucun mécompte; de même récemment, au puits n° 1 du siège de l'Héribus, on a laissé sans revêtement des passes de 90 mètres sans qu'aucune chute se produise.

On ne peut donc proclamer *a priori* l'inutilité de tout revêtement provisoire puisque cela dépend des circonstances particulières. L'objection qui mérite le plus d'attention est celle qui reproche au revêtement provisoire de masquer la paroi et d'empêcher son inspection au point de vue d'une fuite d'un tube congélateur, qui se marque par une tache sombre sur la paroi blanche de givre. Il existe d'autres moyens, mais moins aisés, de s'apercevoir d'un tel incident: les avertisseurs électriques placés aux machines frigorifiques de la surface signalent la baisse de niveau dû à une perte de liquide froid; généralement, il est vrai, cet indicateur, placé sur un groupe de cuves communicantes, ne fonctionne qu'après une forte déperdition de liquide et les recherches pour isoler l'origine de la fuite demandent un certain temps pendant lequel les congélateurs ont le temps de se vider. Aussi à Beeringen a-t-on monté un dispositif spécial sur chaque circuit, et qui décèlera immédiatement le tube où la fuite se produit.

La question de la composition du béton à employer dans les fonçages par congélation ne paraît pas bien clairement élucidée; on conçoit du reste que les sociétés de fonçage se trouvant bien de telle ou telle composition, préfèrent ne pas les divulguer. M. Zaeringer cite des mélanges de chaux éteinte, soudé calcinée et chlorure de magnésium, et considère le chlorure de sodium comme désavantageux (1) (voir aussi *Glückauf*, 1906, n°s 18-22, art. de Joosten).

(1) Relativement à cette assertion, disons qu'une importante société de fonçage utilise cependant avec complète satisfaction le chlorure de sodium. Aux puits de Harchies de la Société de Bernissart, on a utilisé le sulfate de soude.

En résumé, l'auteur conclut qu'un béton à prise lente, contenant le minimum d'eau et bien pilonné, donne les meilleurs résultats. Des bétons à prise rapide peuvent trouver leur application dans des cas tout spéciaux.

Nous rappellerons qu'en 1906, au charbonnage du Grand-Hornu, on s'est contenté de damer derrière le cuvelage, à sec, le squelette du béton constitué de grenailles de porphyre de Quenast; l'injection de ciment se fit après dégel, par des orifices ménagés dans le cuvelage. A présent, dans les puits creusés en Belgique tout au moins, on ménage la possibilité de cette injection en munissant le cuvelage, tous les dix mètres environ, de tubulures spéciales prévues à cet effet. A Harchies, ces tubulures n'avaient pas été prévues et il fallut tarauder des trous spéciaux dans le cuvelage en place pour permettre d'assurer l'étanchéité par injection de ciment.

Le revêtement définitif des puits creusés par congélation est, dans l'immense majorité des cas, le cuvelage circulaire en fonte, mais il y a des exemples de muraillement, notamment dans les puits des mines de lignite, généralement de forme rectangulaire. Récemment en Russie deux puits ont été revêtus de plaques de béton, préparées d'avance et s'assemblant l'une à l'autre, pour un diamètre de 5 à 6 mètres et une profondeur de 180 mètres, dans un calcaire crevassé fort aquifère. Le choix de ce système avait plutôt été dicté par les droits de douane élevés frappant les cuvelages allemands à leur entrée en Russie (1).

Quant au dégel des terrains, M. Zaeringer attribue au

(1) En Belgique, le puits n° 2 d'Hautrage, actuellement en creusement à niveau vide, est revêtu de cette manière depuis la cote de 60 mètres. Ce revêtement existe à présent (1er mars 1911) jusqu'à la cote de 235 mètres. Au puits Carl-Alexander, à Völklingen, on a employé, sur 135 mètres de hauteur, un système mixte renforcé: derrière le cuvelage en fonte, se trouve un revêtement en béton armé de 0m30 d'épaisseur, avec armature en fers ronds.



dégel artificiel, outre l'énorme avantage de la rapidité, celui d'assurer une plus grande régularité dans le dégel, et par conséquent une charge uniforme, non unilatérale, du cuvelage. On conçoit aisément que, dans le cas de dégel naturel, les mouvements des eaux dans les terrains doivent favoriser l'échange de calories à certains points et répartir très irrégulièrement le dégel. Il y a donc lieu, au point de vue de la sécurité, de donner la préférence au dégel artificiel. Le dégel artificiel est du reste aisé : il suffit de faire circuler, au lieu de la solution froide, une solution progressivement échauffée (1).

Après dégel, les tubes congélateurs peuvent être retirés. M. Zaeringer dit qu'on les laisse généralement pour consolider le puits ; on les remplit de béton.

Nous pensons qu'en Belgique et en France on essaie généralement de reprendre ces tubes congélateurs ; mais la chose n'est pas aisée (2), car, comme on a généralement retiré les tubes de soutènement du sondage après la descente des tubes congélateurs, les parois du trou se sont éboulées et les tubes se brisent fréquemment lorsqu'on veut les remonter.

Un des avantages du dégel artificiel est encore de pouvoir retirer les tubes congélateurs avant que les terrains n'aient perdu toute leur rigidité et se soient tassés contre les tubes.

Ces dernières années ont vu s'accomplir des progrès énormes dans le creusement des puits par congélation. Le perfectionnement des installations mécaniques, les améliorations des machines frigorifiques, le développement con-

(1) Nous disons *progressivement* échauffée, pour éviter les ruptures de congélateurs ; on sait qu'à Harchies notamment, au puits n° 1, le dégel artificiel a causé plusieurs ruptures de circuits. A ce puits, pour diminuer les tensions du cuvelage au dégel, on a rempli d'eau l'intérieur du puits : d'où grand retard. A notre connaissance, ce procédé n'a plus été appliqué depuis.

(2) A Harchies, 8 circuits sur 36 furent retirés intacts.

sidérable de la technique des sondages, et l'expérience acquise dans les creusements antérieurs, telles sont les causes que M. Zaeringer assigne à l'extension prise par le procédé. On pourrait, croyons-nous, ajouter à ces faits positifs l'émulation créée par la découverte et la nécessité de mettre à fruit des gisements de plus en plus inaccessibles : pour notre pays, la mise en valeur du bassin de la Campine a été un puissant facteur de l'extension du procédé.

Il y a quelques douze ans, on considérait encore les creusements de plus de 180 mètres comme très hasardeux ; suivant M. Zaeringer, la *Tiefbau- und Kältindustrie* fut la première à entreprendre (en 1906) d'une seule traite, sous pleine garantie de réussite, le creusement d'un puits de 330 mètres, dont 270 mètres de sables bouillants alternant avec des bancs d'argile plus ou moins tendres et sableux : c'est le puits I des établissements Solvay allemands, division de Borth près de Büderich (Wesel). Antérieurement, on pensait assez généralement que, pour les profondeurs dépassant 200 mètres (1), on devrait recourir à la congélation *par passes*, à cause de l'impossibilité de se rendre compte des déviations des sondages.

Aussi les efforts se concentrèrent-ils vers la réalisation pratique des mesures de déviation ; les appareils imaginés à cette fin furent multiples (2), mais ce n'est que tout récemment que quelques types tout-à-fait mis au point reçurent la consécration de la pratique et se montrèrent adéquats à leur but. Deux appareils sont utilisés par la *Tiefbau- und Kältindustrie* : l'appareil Erlinghagen et l'appareil Gebhardt. M. Zaeringer leur attribue de pouvoir,

(1) Rappelons encore que les puits de Harchies, en 1898-1903, furent foncés à 236<sup>m</sup>50 par congélation.

(2) Voir dans le numéro de septembre 1910 de la *Revue Universelle des Mines* une étude très complète de M. l'ingénieur Bodart sur ces différents appareils.



même pour des profondeurs de 700 mètres, donner la déviation à quelques centimètres et l'orientation à quelques degrés près. Ces appareils ont déjà été décrits dans plusieurs revues; esquissons en le principe; tous les deux sont basés sur l'emploi d'un pendule actionné au moment voulu aux diverses profondeurs du sondage, et dont la pointe marque une trace sur un papier à diagrammes; dans chaque mesure, il y a deux éléments: la grandeur de la déviation et son orientation.

Les deux appareils mesurent l'orientation en empêchant toute rotation pendant la descente; à cette fin, l'appareil Erlinghagen est suspendu à deux tubes télescopiques glissant l'un sur l'autre et toujours parallèlement, grâce à des encoches spéciales; ces tubes sont reliés au jour par deux câbles distincts renfermant un conducteur électrique; pendant que l'un descend dans le trou de sonde, l'autre est immobilisé dans le tubage par des électro-aimants qui font saillie sous l'influence d'un courant qu'on lance dans le câble correspondant; lorsque le tube arrive à fond de course, il est immobilisé à son tour par ses électro-aimants et le second tube, décalé, vient le rejoindre. Par cette série de descentes, — sorte de mouvement de reptile, — on ne modifie en rien l'orientation de l'appareil: dès lors le pendule qui, dans l'appareil, doit indiquer la déviation, donnera, en même temps que la grandeur de celle-ci, son orientation.

Dans l'appareil Gebhardt, le tube contenant le pendule porte à deux niveaux différents trois roulettes à arêtes vives pressées contre le tubage par de forts ressorts à boudin; les roulettes placées sur une même génératrice du tube sont de plus réunies par une tige qui les maintient dans le même plan; un assemblage spécial des tiges par manchon à tenon empêche (théoriquement) toute torsion de l'appareil. Le pendule est actionné électriquement dans l'appareil

Erlinghagen, par un mouvement d'horlogerie dans l'appareil Gebhardt; un rouleau de papier se présente à ces moments sous la pointe du pendule et enregistre la déviation (1). Les points ainsi marqués permettent de déterminer l'inclinaison du sondage aux différents niveaux d'observation et par conséquent, en supposant l'inclinaison constante entre deux points d'observation, de tracer le graphique de déviation du sondage.

Nous aurons l'occasion de revenir plus loin sur cette question des déviations des sondages et de mentionner l'appareil de l'*Entreprise générale*, le téléclinographe, qui figurait à Bruxelles et est employé avec succès en Campine aux puits de Winterslag (Société de Ressaix).

Il est à remarquer que les progrès dans l'art du sondeur sont parvenus à réduire au minimum la durée des sondages à exécuter pour le creusement d'un puits par congélation, comme nous aurons l'occasion de le voir plus loin par quelques exemples, mais ils n'ont jamais réussi à exercer une influence sensible sur les déviations des sondages: trop de facteurs interviennent et surtout les circonstances même du gisement, l'ordre de succession des couches, leurs duretés différentes, etc., etc...

M. Zaeringer appuie sur ce conseil qu'il ne faut craindre aucune dépense de temps ou d'argent pour assurer, par les sondages supplémentaires nécessaires, la fermeture du mur de glace et, à ce point de vue, la *sécurité* du travail est intimement liée à la *réussite*. Aussi reviendrons-nous plus loin sur cette question en nous plaçant plus spécialement au point de vue de la sécurité.

(1) Dans l'appareil d'Erlinghagen, c'est la bande de papier qui se déplace; dans l'appareil Gebhardt, c'est le pendule qui se meut vers le bas au moment des observations; ce déplacement du point de suspension pouvant entraîner des erreurs, la Société Solvay a fait construire (au puits de Borth-Wesel) un appareil Gebhardt modifié, avec le premier dispositif.



L'auteur cite ensuite un cas d'application du procédé de congélation par passes : dans sa forme primitive, ce procédé comportait des retrécissements graduels du diamètre du puits, tout comme dans le procédé des tours descendantes (1).

La firme Gebhardt et König supprima cette sujétion dans l'application qu'elle fit aux puits Baldur I et II de la *Bergwerksgesellschaft Trier*. Ces puits avaient été entrepris par congélation pour une profondeur de 135 mètres. Un peu avant que le creusement n'atteignît ce niveau, une cassure du fond indiqua qu'il existait encore au-dessous, des marnes sableuses très aquifères. La Société se décida à faire poursuivre le procédé de congélation mais imposa la condition de garder le diamètre admis, soit 6 mètres. C'était là une grosse difficulté et plusieurs firmes se refusèrent. Le premier projet avait été, après établissement d'un noyau de béton dans le fond du puits, de prolonger les sondages existants jusqu'à la profondeur de 175 mètres, fixée par des sondages de recherche ; mais deux obstacles contrecarraient la réalisation de ce projet : d'une part, la forte glace des 135 mètres supérieurs aurait empêché le lavage à l'eau douce à travers les tubes congélateurs (2) ; d'autre part, l'espace très réduit dont on disposait à travers

(1) Voir notamment dans la *Revue Universelle des Mines*, t. V et VII (1904), la description sommaire des procédés *Unger* et *Grotevath und Hillenblink*. A notre connaissance, ces procédés n'ont jamais été appliqués. — Mentionnons encore qu'au puits de la société de *Schieferkante*, à Göttingen (district de Goslar), une sorte de congélation par passes avait été appliquée en ajoutant simplement 4 sondages pratiqués à l'intérieur de la section du puits et n'allant que jusque 100 mètres de profondeur. Les sondages extérieurs atteignaient 185 mètres mais les tubes congélateurs n'y furent d'abord descendus qu'à la profondeur de 100 m. Cette façon de procéder hâta beaucoup le moment où il fut possible de commencer le creusement grâce à la formation d'un bouchon provisoire de glace à 100 m., et c'était là surtout le but à atteindre.

(2) Dans ce projet on aurait d'abord enlevé les tubes de descente de chaque circuit, coupé à la fraise le fond de chaque tube congélateur, puis poursuivi les sondages en faisant passer la sonde et les tiges dans les tubes congélateurs.

les tubes congélateurs, surtout à cause des bourrages ou joints élastiques ménagés de distance en distance pour permettre la dilatation de la colonne; était trop petit pour pouvoir atteindre avec certitude le niveau de 175 mètres avec un diamètre utilisable.

On résolut donc de procéder autrement : le puits était cuvelé jusqu'à 116 mètres, et le front de creusement se trouvait à 3 ou 4 mètres plus bas ; une couronne de sondages en fonte, ayant le diamètre du puits à nu, fut disposée au fond ; elle portait 26 tubulures légèrement divergentes (voir fig. 1) sur lesquelles furent greffés, suivant les

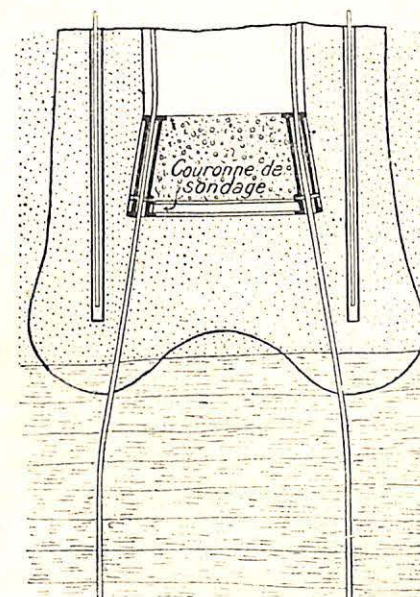


Fig. 1.

mêmes directions, des tubes-guides de 3 mètres de longueur ; le tout fut noyé dans du béton. Les tubes-guides furent prolongés jusqu'au jour par des tubages verticaux. L'inclinaison des tubes guides vers l'extérieur avait pour but de reporter les trous de sonde à l'extérieur du puits,



mais les sondages ne conservent pas cette direction inclinée et, après un certain parcours, reviennent vers la verticale par suite du poids du trépan et des tiges (voir la fig. 1) (1).

Pendant le forage, c'est-à-dire après la traversée du fond de glace, de 132 à 135 mètres, les eaux montèrent dans les tubages (c'était d'ailleurs ce qui avait dicté leur prolongement jusqu'au jour), mais sans pouvoir pénétrer dans le puits. On descendit dans chaque sondage les tubes de congélation, en les isolant hermétiquement dans la traversée de la couronne de sondages.

Malgré la lenteur inhérente à ces travaux de longue haleine, ils furent menés à bien et M. Zaeringer conclut par cet exemple à la faillite des procédés imaginés pour la congélation par passes avec diminution du diamètre.

Nous mentionnerons ici qu'une application semblable, mais beaucoup plus pénible à cause de la profondeur, s'achève actuellement au puits n° 1 d'Hautrage, en Belgique : ce puits avait atteint, à niveau vide, la cote de 280 mètres, lorsque la rencontre de la *meule* (2) exigea le recours à la congélation pour atteindre le houiller à 305 mètres. Un dispositif absolument semblable à celui décrit par M. Zaeringer fut adopté.

Rappelons encore que la première application de la congélation en Belgique (au puits n° 9 de Houssu, en 1886) fut du même genre (voir *Annales des Mines de Belgique*, t. XV, 3<sup>e</sup> liv.).

Parmi les fonçages qui sont rappelés au tableau que

(1) Le même fait avait déjà été constaté au fonçage du puits de Laura et Vereeniging à Eyselshoven (Limbourg hollandais), où l'éboulement de la paroi sud du puits exigea un travail analogue de congélation au fond du puits (voir *Gluckauf*, 23 mai 1903, article de M. PIERRE, et *Annales des Mines de Belgique*, 1905, p. 65, article de M. BODART).

(2) Terrain aquifère qui se trouve parfois à la base du crétacé se présentant sous forme de gravier à plus ou moins gros éléments.

nous reproduisons ci-après, signalons quelques données particulièrement intéressantes.

Le temps considérable exigé par l'exécution des sondages restera toujours un des points faibles de la congélation ; cependant des progrès notables ont été réalisés ; c'est ainsi qu'aux puits Charles-Alexandre, 18,300 mètres de sondages, y compris l'installation des tubes congélateurs, furent forés en huit mois ; la profondeur de congélation y est de 404 mètres, les terrains formés d'alternances de sables et d'argiles (1). Les installations frigorifiques y sont naturellement très importantes.

Le puits I des *Deutsche Solvay Werke* fut foncé (1906-09) dans le délai de 36 mois au lieu du délai de 68 mois fixé par contrat. La profondeur de congélation était de 330 mètres (2) ; le seul incident du fonçage fut la rencontre, à 240 mètres de profondeur, de couches d'argile plastique gonflante (3) qui nécessitèrent la pose de quelques anneaux de cuvelage suspendus au lieu du travail habituel en remontant. Partout ailleurs le mur de glace se montra compact et sans fracture, et notamment au fond, bien qu'il eût à supporter plus de 30 atmosphères de pression. Ainsi, dit M. Zaeringer, on peut considérer comme absolument démentie l'opinion souvent émise que la glace ou *a fortiori* un mur de glace deviendrait plastique sous une certaine pression dépassant 20 à 25 atmosphères (4).

(1) A titre d'indication, les puits qui détiennent actuellement, à notre connaissance, le record de la profondeur de congélation sont les deux puits de la *Gewerkschaft Lohberg*, que la société *Deutscher Kaiser* a établis à 3 kilomètres au nord de Dinslaken : ils ont atteint le niveau de 415 mètres, le 1<sup>er</sup> au 13 janvier 1910, le second au 6 mai 1910.

(2) Ce puits doit exploiter à la fois le sel gemme (à 750 mètres) et le houiller dont la tête se trouve à 771 mètres.

(3) D'après nos renseignements, ces argiles tertiaires correspondent à nos argiles de Boom.

(4) Cette assertion était encore exprimée par M. l'Ingénieur Bodart dans les *Annales des Mines de Belgique*, t. X, p. 61 (1905).



Citons encore un autre incident dû à des couches d'argile. Au puits de la Société charbonnière Frédéric-Henri, la rencontre, à 145 mètres de profondeur, d'une couche d'argile gonflante, donnant une pression unilatérale, eut pour conséquence une interruption du creusement. On remplit la partie inférieure du puits et l'on renforça, du côté où se faisait la poussée, le mur de glace par l'exécution d'une seconde ligne de sondages, qui furent munis de tubes congélateurs. Après une suspension du travail relativement courte, le sable gelé qui remplissait provisoirement le puits put être enlevé et le travail reprit sans incident.

M. Zaeringer ne donne malheureusement pas le prix de revient de tous ces travaux, ce qui n'eut pas manqué d'intérêt ; évidemment ces prix varient beaucoup d'après les circonstances locales, la profondeur, le diamètre, les terrains traversés, etc. Nous comprenons du reste que les exigences de l'industrie ne permettent pas toujours de divulguer ces questions de prix de revient.

Des exemples qu'il a cités, M. Zaeringer conclut avec raison que le procédé de congélation, dans son développement actuel, est à la tête de tous les procédés spéciaux ; car, sans compter qu'il est souvent le seul applicable, il renferme en lui deux éléments de succès que pourraient en vain lui disputer les autres procédés : 1° il est relativement indépendant de la puissance des couches à traverser, de la quantité d'eau qu'elles contiennent, de leur nature ; il s'applique indifféremment, qu'il s'agisse de traverser des couches fissurées, compactes ou fort aquifères, ou plusieurs centaines de mètres de terrains bouillants ; 2° il est le seul procédé qui se prête à un calcul préalable précis, permettant de fixer un prix par contrat, tout en garantissant la réussite et des limites certaines de délai d'exécution.

Nous donnons ci-dessous un tableau renfermant des données intéressantes sur quelques-uns des puits creusés par la *Tiefbau und Kältindustrie* (1).

(1) Rappelons ici la liste si documentée donnée par M. l'Ingénieur Joosten dans le *Glückauf* du 2 juin 1906 et rappelant les principales données relatives aux fonçages entrepris par congélation de 1883 à 1906, déjà alors au nombre de 93. M. l'Ingénieur principal Denoël a résumé ce travail, pour les puits les plus intéressants, dans les *Annales des Mines de Belgique* 1906 pp. 787 et suiv.

A part les deux premiers puits, déjà repris dans le relevé de M. Joosten sous les nos 50 et 56, le tableau suivant renferme tous fonçages achevés ou entrepris postérieurement.



**Données relatives à quelques puits creusés par congélation**  
*par la Société « Tiefbau und Kältindustrie ».*

Numéros	NOM et SITUATION de la mine	Diamètre du puits et profondeur creusée sous la protection du mur de glace	Comment la profondeur du bon terrain a été estimée	Diamètre et profondeur de l'avant-puits	Nombre de sondages	NATURE DES TERRAINS à traverser	Profondeur des trous de congélation	Puissance de la machine à ammoniaque de l'installation frigorifique en calories par heure	Durée des sondages	Durée de la congélation jusqu'au début du creusement	Durée du creusement compris la pose du cuvelage ou du muraillement	AVANCEMENTS MOYENS	
1	Salines Leopoldshall du Grand-Duché d'Anhalt, puits n° 6.	d. 5 <sup>m</sup> 50 p. 175 <sup>m</sup> 93	par les sondages de congélation	d. 4 m. p. 10 m.	26	0 à 1 mètre, terre végétale. — 1 à 24 mètres, sables bouillants, graviers, éboulis. — de 24 à 48 <sup>m</sup> 5, grès bigarré. Sous 48 <sup>m</sup> 5, argiles.	163 m.	230,000	du 14-6-1899 au 20-6-1900 = 12 mois	du 22-6-1900 au 2-12-1900 = 164 jours	du 2-12-1900 au 8-11-1901 = 337 jours	Sondages : 7 <sup>m</sup> 40 Creusement : 0 <sup>m</sup> 75 sans cuvelage ou 0 <sup>m</sup> 40 cuvelage compris	} par jour
6	Mine de lignite Marie, à Atzendorf.	d. 5 mètres p. 66 m.	id.	d. 7 m. p. 9 m.	26	0 à 61 <sup>m</sup> 5, sables mouvants; en dessous, lignite.	61 m.	110,000	du 8-7-1900 au 8-1-1901 = 6 mois	du 23-1-1901 au 4-6-1901 = 132 jours	du 5-6-1901 au 17-11-01 = 103 jours	Creusement : 0 <sup>m</sup> 76 par jour, non compris la pose du cuvelage.	
17	Charbonnage Gemeinschaft, puits n° 2, à Duffesheide bei Aachen	d. 6 mètres p. 168 m.	id.	d. 11 <sup>m</sup> 5 p. 16.5	32 1 central 3 supplémen- taires	0 à 138 mètres, sables mouvants. — 138 à 148 mètres, id. avec coquillages. — 148 à 155 <sup>m</sup> 2, sable argileux. — 155 <sup>m</sup> 2 à 156 <sup>m</sup> 7, argile bleue. — 156 <sup>m</sup> 7, houiller.	169 m.	300,000	du 7-10-1905 au 12-2-1906 = 126 jours	du 5-4-1906 au 7-8-1906 = 123 jours	du 8-8-1906 au 13-2-1907 = 186 jours	Sondages : 48 m. par jour. Creusement : 0 <sup>m</sup> 90 »	
25	Charbonnages de Saar et Moselle, puits Hugo Merlenbach.	d. 6 <sup>m</sup> 10 p. 178 <sup>m</sup> 42	id.	d. 9 <sup>m</sup> 20 p. 18 m.	26 2 supplémen- taires	Jusque 175 mètres, grès bigarré, puis <i>Rothliegendes</i> .	175 <sup>m</sup> 50	250,000	du 10-5-1904 au 7-5-1905 = 12 mois	du 17-11-1905 au 2-10-1906 = 108 jours	du 2-10-1905 au 6-4-1906 = 185 jours	Sondages : environ 10 m. par jour. Creusement : 0 <sup>m</sup> 94 par jour.	
27	Bergwerksgesellschaft Trier, puits Baldur I et II, Dorsteni, W.	d. 6 <sup>m</sup> 1 p. 135 m.	id.	d. 10 m. p. 4.5	30	Sables mouvants, marnes sableuses et bancs de grès.	135 m.	250,000	I) du 11-6-1905 au 27-10-1905 = 4 ½ mois	du 16-11-1905 au 4-2-1906 = 79 jours	du 5-2-1906 au 5-7-1906 = 151 jours		
28								id.	II) du 2-11-1905 au 21-1-1906	du 3-7-1906 au 21-12-1906	du 1-3-1906 au 2-7-1906		
31	Etablissements Solvay allemands, à Borth-Wesel. Puits n° 1	d. 6 m. p. 330 <sup>m</sup> 20	id.	d. 12.80 p. 5 <sup>m</sup> 23	35 compris 1 central et 8 supplémen- taires	0 à 135 mètres, sables avec couches de gravier. — 135 à 225 m., sable argileux. — 225 à 265 mètres, sable mouvant. — A partir de 265 mètres, grès bigarré crevassé.	330 <sup>m</sup> 20	500,000	du 28-9-1906 au 4-9-1907 = 311 jours	du 5-11-1907 au 16-2-1908 = 92 jours	du 17-2-1908 au 13-5-1909 = 447 jours	Sondages : 41 m. environ par jour. Creusement, cuvelage compris : 0 <sup>m</sup> 88 par jour.	



N°	NOM et SITUATION de la mine	Diamètre du puits et profondeur creusée sous la protection du mur de glace	Comment la profondeur du bon terrain a été estimée	Diamètre et profondeur de l'avant-puits	Nombre de sondages	NATURE DES TERRAINS à traverser	Profondeur des trous de congélation	Puissance de la machines à ammoniac de l'installation frigorifique en calories par heure	Durée des sondages	Durée de la congélation jusqu'au début du creusement	Durée du creusement compris la pose du coulage ou du muraillement	AVANCEMENTS MOYENS
32	Etablissements Solvay allemands, à Borth-Wesel.	d. 6 m.	par les sondages de congélation	d. 12m80 p. 5m23	34 compris 1 central	0 à 135 mètres, sables avec couches de gravier. — 135 à 225 m., sable argileux. — 225 à 265 mètres, sable mouvant. — A partir de 265 mètres, grès bigarré crevassé.	330 m.	500,000	août 1910 à février 1911 = 6 mois.		en creusement	Sondages : 65 mètres par jour.
42	Société anonyme Donnersmarckhütte, à Zabrze, o/s.	d. 6m10 p. 198 m.	id.	d. 9m50 p. 30 m.	27 1 central et 10 supplémentaires	Calcaires, sables, argiles et argiles schisteuses.	198 m	400,000	du 1-2-1907 au 19-2-1908 = 409 jours	du 12-3-1908 au 30-6-1908 = 109 jours	du 1-7-1908 au 2-4-1909 = 272 jours	Sondages : 18m4 par jour. Creusement : 0m73 »
43	Gewerkschaft Karl Alexander, à Völklingen	d. 6 m. p. 404	par des sondages à couronne	d. 12m80 p. 5 m.	34 1 central et 15 supplémentaires	Sable argileux, avec couches d'argile, sable stratifié, argile compacte.	404 m.	1,250,000	du 23-4-1909 au 5-1-1910 = 253 jours	du 2-3-1910	en creusement Profondeur atteinte au 24-3-11 : 245 mètres	Sondages : 80 mètres par jour.
44	Id.	id.	id.	id.	34 1 central et 4 supplémentaires	Id.	id.	id.				Travail en cours
45	Charbonnage Frédéric Henri, à Lintfort	d. 6m10 p. 313 m.	id.	d. 12m80 p. 7 m.	34 1 central 13 supplémentaires	Sable argileux, gravier, schiste houiller, conglomérat, couches de calcaires et argile compacte.	313 m.	750,000	du 14-9-1907 au 2-9-1908 = 349 jours	du 14-10-1908 au 11-2-1909 = 118 jours	en creusement Profondeur atteinte au 24-3-11 : 299 mètres	Sondages : 48 mètres par jour.
46	Id.	id.	id.	id.	34 1 central 5 supplémentaires.	Id.	id.	id.	du 26-5-1908 au 16-3-1909 = 291 jours	du 17-7-1909 du 3-1-1910 = 167 jours	du 4-1-10 au 7-11-10.	Sondages : 40 mètres par jour. Creusement : 1 mètre par jour.
49	Konsol. Alkaliwerke Westeregeln.	section : 3m5 × 7 m. p. 100 m.	par les sondages de congélation	section : 14 × 12m80 p. 3m50	43	Gravier, sable vert, gravier, charbon, sable, argile, charbon, sable argileux.	100 m.	180,000	du 28-6-1908 au 21-10-1908 = 119 jours	du 3-11-1908 au 9-2-1909 = 97 jours	du 10-2-1909 au 10-7-1909 = 151 jours	Sondages : 37m2 par jour. Creusement : 0m66 »
53	Charbonnage Rossenray II et X, à Rheinberg.	d. 6m10 p. 300 m., éventuellement 480 m.	id.	d. 12m80	34							en cours d'exécution



Dans les quelques pages qui suivent, nous n'avons pas la prétention de codifier les règles de la sécurité en matière de fonçage de puits, mais nous voulons simplement présenter quelques observations suggérées par la visite de quelques chantiers de fonçage; nous devons ici des remerciements particuliers à toutes les Sociétés charbonnières et de fonçage, auprès desquelles nous avons toujours trouvé le meilleur accueil (1).

Nous disions plus haut que le procédé de congélation avait, en Belgique, pris une grande extension en vue de la mise en valeur du bassin de la Campine: en effet, les puits de cinq des six sièges en établissement actuellement auront recours au procédé, pour la traversée des morts-terrains tertiaires tout au moins.

On sait (2) qu'à l'endroit des futurs puits, le houiller se rencontre à des profondeurs variant de 486 à 620 mètres; les morts-terrains se groupent, au point de vue des creusements de puits, en deux catégories bien distinctes: tandis que les terrains tertiaires et la tête du crétacé comprennent des assises meubles aquifères où la congélation paraît le seul procédé possible (3), la partie moyenne et inférieure du crétacé est formée de masses compactes ayant une résistance propre, que l'on espère pouvoir traverser à niveau

(1) Qu'il nous soit permis de remercier tout spécialement: M. BRY, Ingénieur divisionnaire de l'Entreprise générale de fonçage de puits, études et travaux de mines; M. P. GOFFART, Administrateur-Directeur de la Société de fonçage de puits franco-belge; M. P. HABETS, Administrateur-délégué des Charbonnages de Beeringen; M. V. MEGANCK, Directeur de la Société anonyme Foraky, pour l'amabilité avec laquelle ils nous ont fourni tous les renseignements et documents que nous leur demandions.

(2) Voir dans les *Annales des Mines de Belgique*, t. XV, 3<sup>e</sup> livraison, l'article de M. PAUL HABETS résumant si clairement la situation des recherches et travaux de reconnaissance en Belgique.

(3) Cinq des six sociétés minières ont donné la préférence à la congélation; la sixième (Helchteren - Zolder) compte faire usage du procédé Stockfisch, procédé à niveau plein, opérant par battage avec injection de liquide dense pour maintenir les terrains éboulés.

vide après une cimentation préalable à la congélation. Cette cimentation se fait par quelques-uns des sondages de congélation poursuivis à cette fin jusqu'au houiller.

Mais il semble que les premiers essais de cimentation ne donnent pas les résultats espérés et que notamment le tuffeau de Maestricht n'absorbe pas le ciment: il faudra donc vraisemblablement reporter plus bas la profondeur de congélation et les essais qui se poursuivent fixeront bientôt la limite des deux procédés (1).

La profondeur de la congélation était déjà importante dans les projets primitifs: 330 mètres à Beeringen et aux Liégeois, 360 mètres à Waterscheid (André-Dumont), 428 mètres à Winterslag (Ressaix), 470 mètres à Limbourg-Meuse. Pour ces deux derniers sièges, cette profondeur est définitive, elle atteint respectivement le Hervien et le Houiller.

Pour des profondeurs semblables, la fermeture du mur de glace, outre qu'elle est indispensable à la réussite, intéresse aussi la sécurité, car une brèche sous des pressions de ce genre amènerait une catastrophe.

Aussi la **mesure des déviations** des sondages mérite-t-elle de retenir l'attention d'une manière spéciale au point de vue de la sécurité. Au siège de Beeringen, l'un des plus

(1) A titre de renseignement, notons brièvement la situation des travaux en mars 1911: A Beeringen, tous les sondages (37) sont achevés au puits n° 1; ils se terminent au puits n° 2; les essais de cimentation se poursuivent au n° 1 par les 10 sondages poursuivis jusqu'à 625 mètres (houiller); à André-Dumont, au puits n° 1, 2/3 des sondages de congélation sont achevés, 11 d'entre eux atteignent le houiller à 510 mètres et servent à la cimentation; au puits n° 2, on a commencé les sondages de congélation qui doivent servir à la cimentation préalable; à la Société de Ressaix (Winterslag) on exécute les sondages supplémentaires au puits n° 1; aux Liégeois, seul le sondage central de chacun des deux puits est achevé et celui du puits n° 2 sert aux essais de cimentation; dans les concessions d'Helchteren-Zolder et de Limbourg-Meuse, les travaux de creusement des puits sont en préparation seulement; à la plupart des sièges, les installations de surface, notamment les centrales électriques, sont en montage ou en achèvement, de même que les installations frigorifiques, très importantes.



avancés, on a procédé à ces mesures à l'aide de l'appareil d'Erlinghagen (1); le tracé de chaque sondage est repéré d'après les observations de deux opérateurs distincts, l'un délégué par le Charbonnage, l'autre par la Société de sondage. La combinaison de ces deux séries distinctes d'observations élimine les erreurs de lecture ou personnelles. Souvent, du reste, il y a une remarquable similitude dans les tracés, bien que les opérateurs ne puissent se communiquer leurs observations.

Pour se rendre compte de l'allure du mur de glace, on fait, à l'aide des plans de chaque sondage, une coupe horizontale du puits tous les 50 mètres : sur ces coupes figurent les traces des sondages, à ce niveau, entourées d'un cercle de 1 mètre de rayon, qui est considéré comme le minimum d'influence d'un tube congélateur : l'enveloppe de ces cercles représente l'allure qu'aura le mur de glace; généralement ces cercles s'interfèrent, se recoupent l'un l'autre; mais si, par suite de déviations en sens inverse de sondages voisins, il se marque une solution de continuité, une brèche dans le rempart de glace, un sondage supplémentaire est exigé pour la fermer : après exécution, on repère l'allure de ce sondage et l'on reporte sur les coupes ses traces pour vérifier l'obstruction de la brèche.

Une telle manière d'opérer présente certainement de fortes garanties. Au puits n° 1, 30 sondages avaient été répartis sur un cercle de 10<sup>m</sup>80 de diamètre. A la suite des résultats des épures dont nous venons de parler, 7 sondages supplémentaires furent exécutés ensuite. Pour faire saisir l'utilité du mode que nous venons de décrire, nous donnons ci-contre quatre coupes aux différents niveaux montrant l'état des sondages après exécution des sept

(1) Au charbonnage André Dumont, à Waterscheid, les mesures de déviation ont été faites également à l'aide de l'appareil Erlinghagen.

sondages supplémentaires. Nous avons supprimé les coupes tous les 50 mètres pour simplifier et nous reproduisons uniquement (fig. 2, 3, 4 et 5) les coupes à 100, 200, 300 et 330 mètres de profondeur (1); on remarquera qu'à 100 mètres les déviations sont très minimes et n'auraient exigé aucun sondage supplémentaire; à 200 mètres, les sondages 5, 6 et 7 se concentrent en des points très voisins et laissent une brèche entre eux et le groupe 8-9-10 également concentré; les sondages supplémentaires 6<sup>bis</sup> et 7<sup>bis</sup> ont obstrué cette fissure; il existait encore une interruption entre 11 et 13 (sondage 11<sup>bis</sup>), entre 19 et 22 (sondage 20<sup>bis</sup>), entre 27 et 29 (28<sup>bis</sup>). Au niveau de 300 mètres, le sondage 7<sup>bis</sup> suffit à lui seul pour obstruer la brèche entre 5-6-7 et 9-10; le sondage 6<sup>bis</sup> n'a été poussé que jusqu'à 272 mètres; le sondage 11<sup>bis</sup> continue son office à 300 mètres; les sondages 8 et 20 dévient fortement vers l'extérieur, s'échappant de la ceinture de glace; à 330 mètres le sondage n° 1 s'ajoute aux deux précédents; le sondage 16<sup>bis</sup> renforce, comme déjà au niveau de 300 mètres, le mur dans une partie où les sondages 12 à 16 sont fortement enchevêtrés; le 22<sup>bis</sup> se plante entre le 22 et 23 tandis que le 28<sup>bis</sup> continue à remplacer le 28 fortement dévié. Au niveau de 300 mètres, il existe bien une légère brèche entre les 27 et 29-30, mais elle disparaît au niveau de 330 mètres. Le liseré noir formant l'enveloppe des cercles d'influence fait ressortir d'une manière plausible l'allure du mur de glace.

A Winterslag, la Société de Ressaix pousse d'emblée la congélation jusque dans le Hervien, soit 428 mètres. 27 sondages, répartis sur une circonférence de 11 mètres de

(1) La position des sondages à 330 mètres a été obtenue par extrapolation en prolongeant l'inclinaison du dernier tronçon de 5 mètres relevé dans chaque sondage : en effet pour éviter de placer l'appareil dans les boues qui s'accumulent au fond de chaque trou, les dernières mesures ont été opérées à des niveaux variant de 307 à 327 mètres.



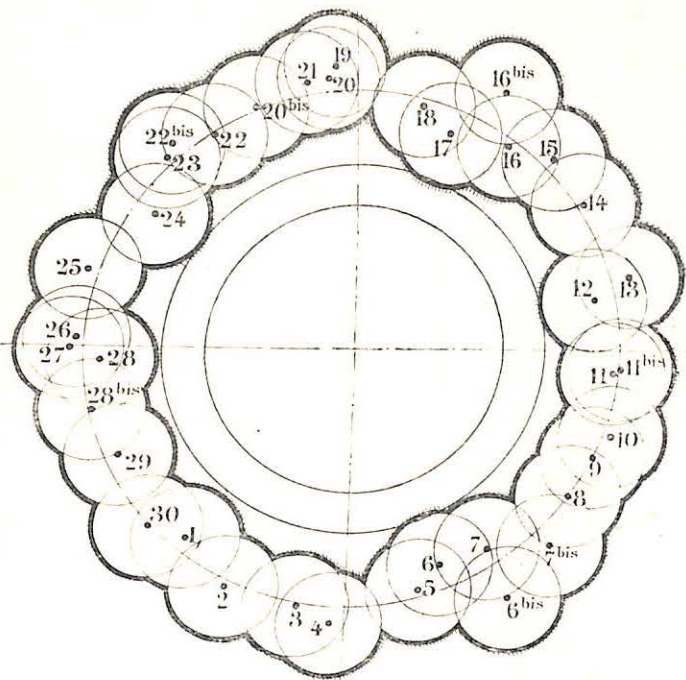


Fig. 2. — A 100 mètres.

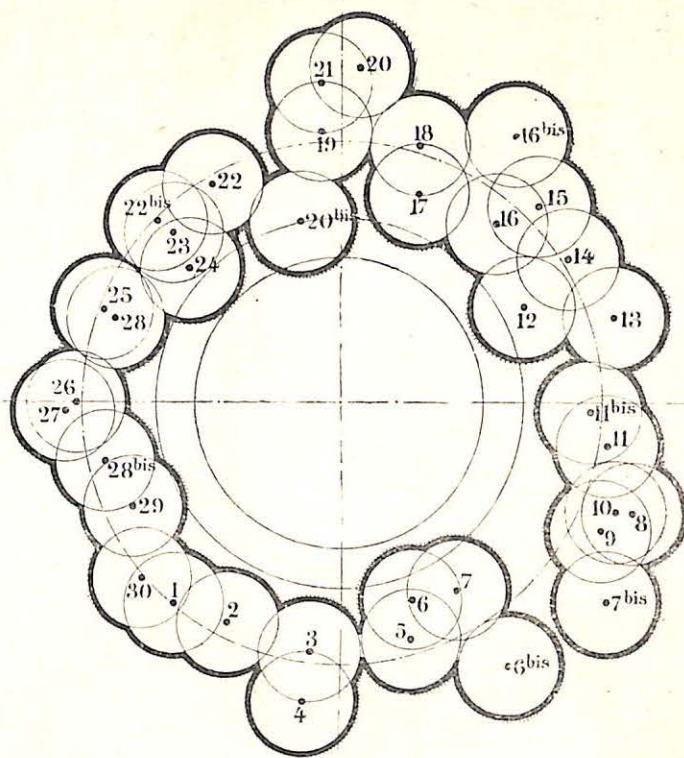


Fig. 3. — A 200 mètres.

## Charbonnages de Beeringen — Puits N° 1

Coupes horizontales indiquant la position des sondages et l'allure du mur de glace.

Diamètre utile du puits . . . . . 5m80  
 » creusé . . . . . 7m40  
 » de la circonférence des sondages . 10m80

Les sondages supplémentaires sont indiqués par la notation *bis*.

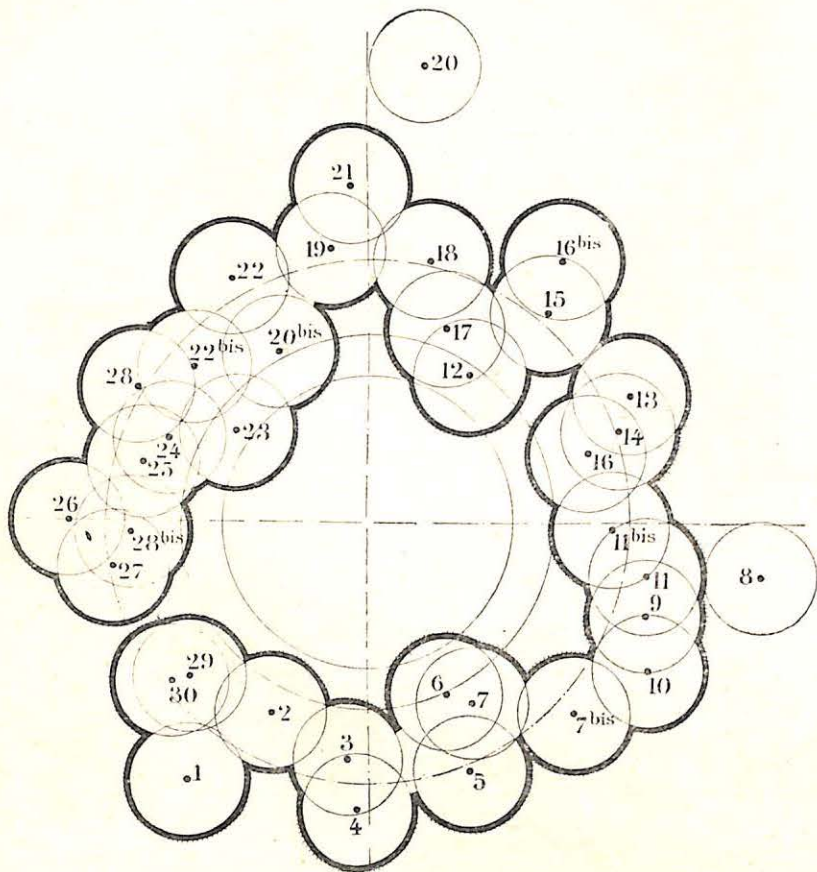


Fig. 4. — A 300 mètres.

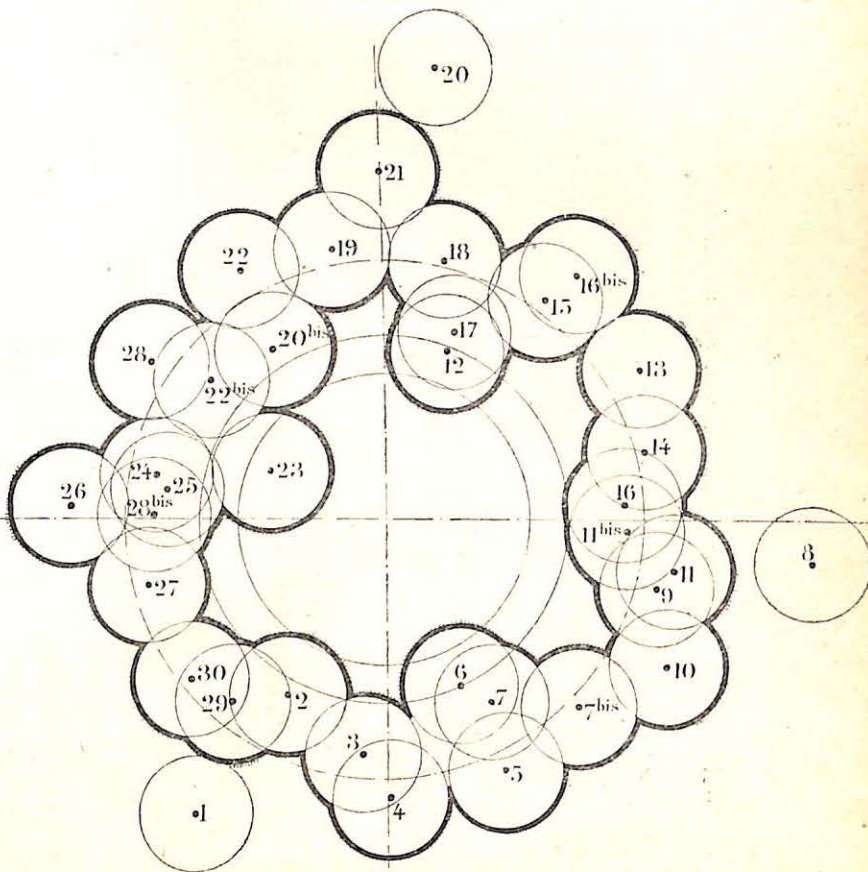


Fig. 5. — A 330 mètres.



diamètre, sont déjà exécutés au premier puits et l'on commence ceux du second puits. Ici la vérification des déviations se fait à l'aide du téléclinographe, breveté au nom de la Société d'Entreprise générale de fonçage de puits et de M. Luc Denis.

Cet appareil, qui figurait à l'Exposition de Bruxelles, est appliqué pour la première fois à un creusement de puits; l'appareil consiste en un tube de cuivre, renfermé dans un tube en fer étanche, suspendu aux tiges de descente, de manière à ne pouvoir tourner sur lui-même; cette boîte tubulaire comportait extérieurement des touches qui devaient assurer son appui sur deux génératrices invariables du tube de revêtement du sondage, mais on y a renoncé; à l'intérieur, elle renferme un pendule conique, suspendu par articulation à la Cardan, et que l'on actionne électriquement au moment de l'observation; la masse de ce pendule porte en son centre un stylet constamment en contact avec une cuvette sphérique ayant pour centre le centre d'oscillation du pendule; cette cuvette est formée d'une surface isolante dans laquelle est noyée une grille formée de quatre réglottes métalliques reliées électriquement à l'appareil récepteur installé à la surface. Celui-ci permet d'enregistrer sur un diagramme l'instant précis où le stylet touche les quatre réglottes (1). Si le sondage est absolument vertical, le stylet décrira une courbe elliptique dont le centre coïncidera avec le centre du carré des réglottes; si le sondage est dévié, les deux centres ne

(1) L'appareil a donné d'excellents résultats, mais comme la pratique a montré dans certains cas particuliers, l'insuffisance de l'orientation du diagramme à l'aide de la grille précédemment réalisée, l'inventeur a imaginé une nouvelle cuvette ayant un grillage plus complet et permettant d'orienter un diagramme quelconque, même dans le cas de fortes déviations du sondage. Dans l'ancien système, si le pendule décrivait une ellipse ne recoupant pas les réglottes, ou ne recoupant que l'une ou l'autre de celles-ci, l'appareil n'enregistrait rien ou ne permettait pas d'orienter le diagramme. Ce cas ne se produira plus désormais.

coïncident plus et la distance entre le centre de l'ellipse et celui des réglottes mesurera en grandeur et direction la déviation du sondage sur la hauteur du pendule ( $0^m80$ ).

Remarquons en passant que la longueur du pendule est beaucoup plus forte que dans les autres appareils, ce qui réduit au minimum les erreurs dues à la lecture des diagrammes; de plus l'appareil est relié à une première tige comprenant un bourrelet cylindrique d'un diamètre égal à celui du tube contenant le pendule, de telle façon que tout se passe comme si l'appareil avait 10 mètres de longueur; le pendule donne l'inclinaison moyenne de ces 10 mètres et comme les observations se font tous les 10 mètres, l'appareil relève le profil complet du sondage.

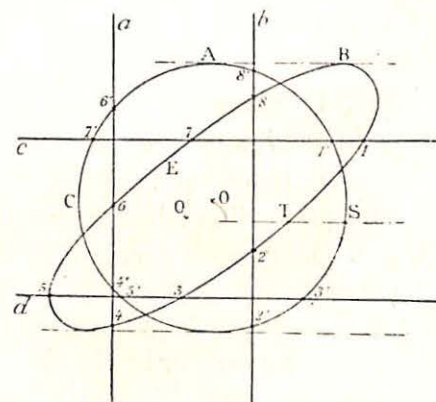


Fig. 6

Le téléclinomètre est basé sur les propriétés suivantes :  
Considérons (fig. 6) une circonférence C et une ellipse E concentriques, décrites par les masses de deux pendules de même longueur, effectuant par conséquent leurs oscillations dans le même temps. Si la marche de ces pendules est réglée de manière qu'ils passent à la même époque l'un au point A, l'autre au point B, la droite qui les joindra sera constamment parallèle à la droite AB; lorsque l'un



sera en un point quelconque S, l'autre sera en T. Comme le pendule circulaire C décrit sa trajectoire d'un mouvement uniforme, l'arc AS est proportionnel au temps et peut servir de mesure au temps que le pendule elliptique a mis pour venir de B en T. L'appareil récepteur réalise un pendule circulaire décrivant une rotation complète dans le même temps que le pendule conique de l'appareil; un mécanisme simple permet d'assurer un synchronisme complet au départ.

Or il est possible de tracer, avec les indications données par l'enregistreur, l'épure de la position des réglettes par rapport au centre de l'ellipse : la plume de l'appareil enregistreur trace non des cercles, mais un diagramme spiraloïde ; chaque fois que le stylet touche une réglette, un courant est lancé dans un électro-aimant qui attire la plume en marquant une brisure.

Par ces brisures, l'observateur connaît donc le temps exact où le pendule conique passe dans l'appareil aux points 1, 3, 5, etc. Les temps qu'il met pour passer d'un point à l'autre sont proportionnels aux arcs de circonférence 1'-3', 3'-5', etc. On conçoit donc qu'en divisant une circonférence quelconque en parties proportionnelles on puisse reproduire la figure formée par la circonférence C et les réglettes *a, b, c, d*, donc trouver la distance des centres. Pour orienter la déviation, une cinquième demi-réglette dite Nord est aménagée sur la cuvette ; de plus, à l'aide de dispositifs spéciaux, les tiges sont repérées et assemblées toujours dans le même ordre ; à cette fin, l'assemblage par vis est remplacé par la jonction de deux têtes à tenon provenant d'une pièce unique sciée, artifice qui assure un contact parfait entre les deux têtes ; deux rondelles à écrou serrent les deux parties. Il suffit de guider l'assemblage des tiges supérieures, au jour, pour être certain de l'orientation de toutes les tiges dans le sondage.

Cette assertion nous paraît faire bon marché de la torsion élastique d'une colonne de tiges de 300 à 400 mètres par exemple, quelle que soit la rigidité des assemblages. Mais le mode de descente des tiges réduit les chances de torsion au minimum.

Sous réserve de l'absence de torsion, l'appareil permet donc de déterminer à toute profondeur la position du centre des sondages. Il est séduisant par son côté scientifique ; il n'est pas sujet aux erreurs dues à l'emploi d'aiguille aimantée. Par contre, comme il ne détermine que l'inclinaison du sondage en des points déterminés, il exige la totalisation des mesures pour tracer l'épure ou calculer la déviation en un point donné, d'où chance d'erreur, par la solidarité des diverses opérations. Cette chance d'erreur est du reste commune à tous les appareils pratiques : la méthode du fil à plomb ou de la lanterne échappe à ce reproche, mais elle n'est applicable avec exactitude qu'à de faibles profondeurs, car dès que le sondage dévie dans des directions diverses — en tire-bouchon, suivant le terme des sondeurs — le fil à plomb ne donne plus aucune indication (1).

On pourrait reprocher au clinographe la délicatesse du récepteur, véritable instrument de précision ; mais cet appareil est installé dans le bureau de l'ingénieur du fonçage et n'est manœuvré que par lui ; il est donc soustrait à toutes les causes de détérioration.

La figure 7 donne une vue de l'appareil récepteur d'après une photographie prise à Genck. Sur la tablette horizontale, la plume trace le diagramme spiraloïde.

Le téléclinographe donne à Genck toute satisfaction.

(1) Il a cependant été appliqué encore à l'Héribus pour une profondeur de 330 mètres, mais des précautions spéciales avaient été prises pour l'exécution des sondages et les déviations dans les craies étaient peu accentuées et régulières.



Naturellement on ne pourra se prononcer sur l'exactitude des indications que lorsque le fonçage les aura contrôlées; mais il y a, entre les séries d'indications relevées avec l'appareil placé successivement dans des positions à  $180^\circ$  l'une de l'autre, un tel parallélisme que les craintes de

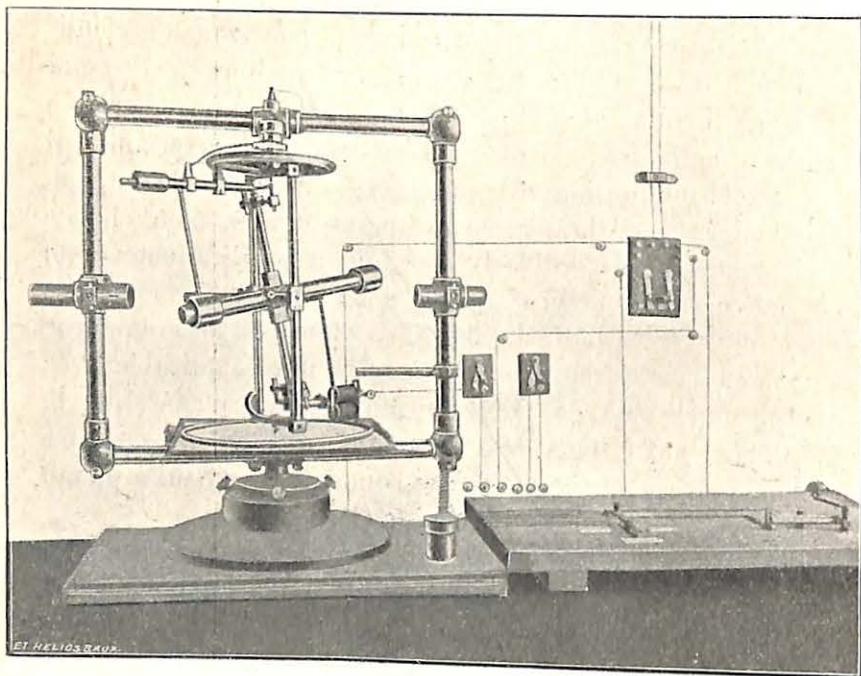


Fig. 7. — Appareil récepteur du téléclinographe.

La plume et l'électro-aimant sont portés sur un chassis qui tourne autour d'un axe vertical; la plume trace une ligne spiraloïde par suite du jeu d'un parallélogramme articulé qui la rappelle constamment au centre. A droite, les connexions électriques; le courant est fourni par une simple batterie de piles.

torsion dans la descente, que nous avons exprimées plus haut, semblent ne pas se réaliser. Il suffit de comparer les deux courbes de chaque sondage pour s'en convaincre.

Le téléclinographe enregistre lui-même ses résultats.

Pour faire comprendre la facilité avec laquelle ces résultats s'interprètent, nous donnons ci-après (fig. 8

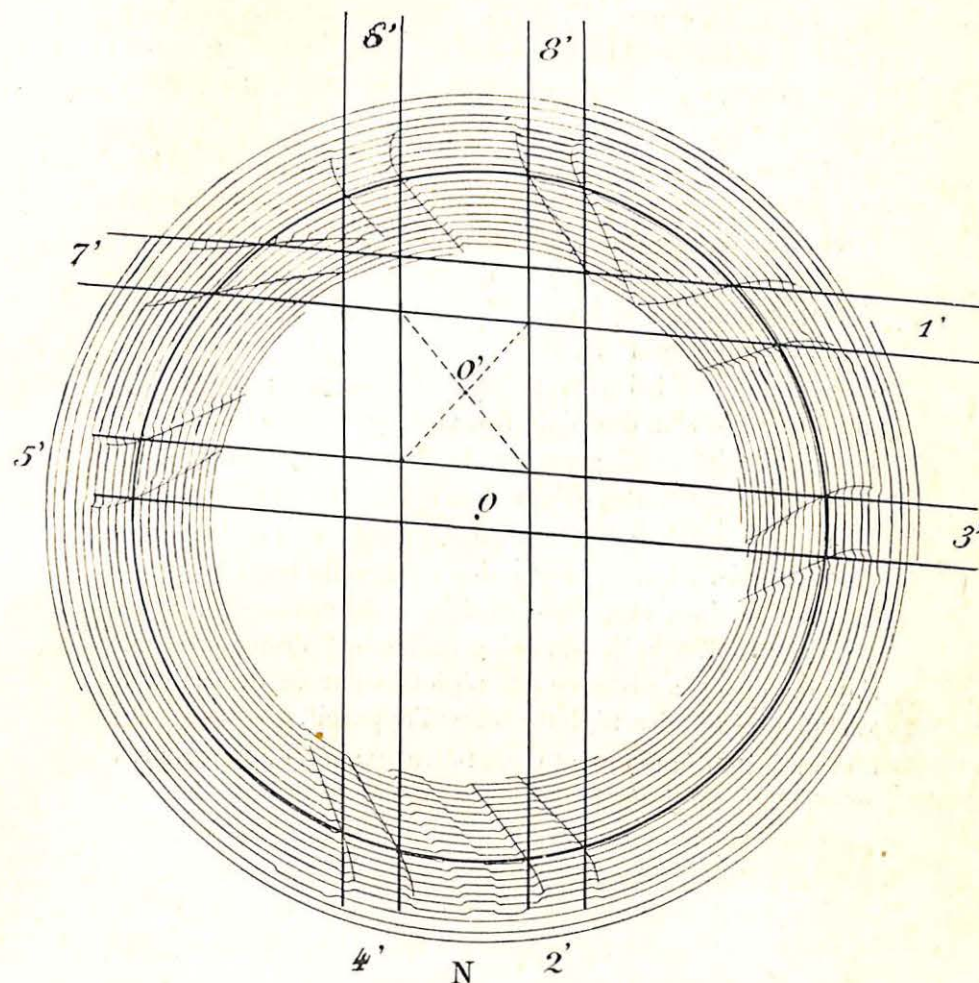


Fig. 8. — Reproduction d'un diagramme obtenu par le téléclinographe au puits de Genck.

la reproduction d'un diagramme spiraloïde obtenu dans une observation : les brisures qui se marquent à chaque



tour indiquent le moment précis où le stylet du pendule touche les réglettes métalliques de la cuvette : c'est-à-dire, pour nous rapporter à la figure que nous avons donnée plus haut, les points 1', 2', 3', etc., de la circonférence (pour la facilité de la comparaison, nous avons reproduit ces notations sur le diagramme); en réalité, il y a deux brisures par réglette, une au début du contact et une seconde au départ du stylet. On réunit les brisures correspondantes de chaque spire par un trait qui forme comme la courbe enveloppe des points de recoupe. Il suffit de considérer le cercle moyen de la courbe spiraloïde (que l'on trace sur le diagramme obtenu), et de réunir par des droites les points 1' 7', 3' 5', 2' 8', 4' 6' où les courbes-enveloppes des brisures recourent ce cercle; on obtient ainsi la projection des réglettes, ainsi qu'on le voit aisément en examinant le diagramme. La distance du centre O du diagramme au centre O' du losange formé par les projections, indique la déviation en grandeur et en direction, car la demi-réglette d'orientation se marque très bien en N. Comme vérification, les droites obtenues doivent être parallèles. L'échelle du diagramme est donnée par le rapport entre la distance des réglettes sur le dessin et la distance réelle des réglettes dans l'appareil.

Par suite d'une crainte peut-être exagérée, l'entreprise générale emploie à Genck un tubage spécial d'un diamètre un peu supérieur à celui du téléclinographe, et fermé en dessous, tubage que l'on enfonce dans le trou dont il faut mesurer les déviations; cette précaution a pour but d'opérer à sec et d'éviter les courts-circuits. C'est là une sujétion dont on pourrait, semble-t-il, s'affranchir par une construction plus robuste de l'appareil et par l'isolement électrique qui ne paraît pas impossible à réaliser.

Dans l'appareil Erlinghagen, l'eau des sondages donne souvent des mécomptes, naturellement, mais son emploi

est néanmoins possible. On ne voit pas dès lors pourquoi le téléclinographe ne pourrait, moyennant certains perfectionnements, être employé dans les mêmes conditions.

Nous donnons ci-contre l'épure des déviations mesurées des sondages au puits n°1 de Winterslag au 1<sup>er</sup> mars 1911 (fig. 9).

Cette épure montre que les déviations les plus fortes ont été de 5 mètres environ à 428 mètres.



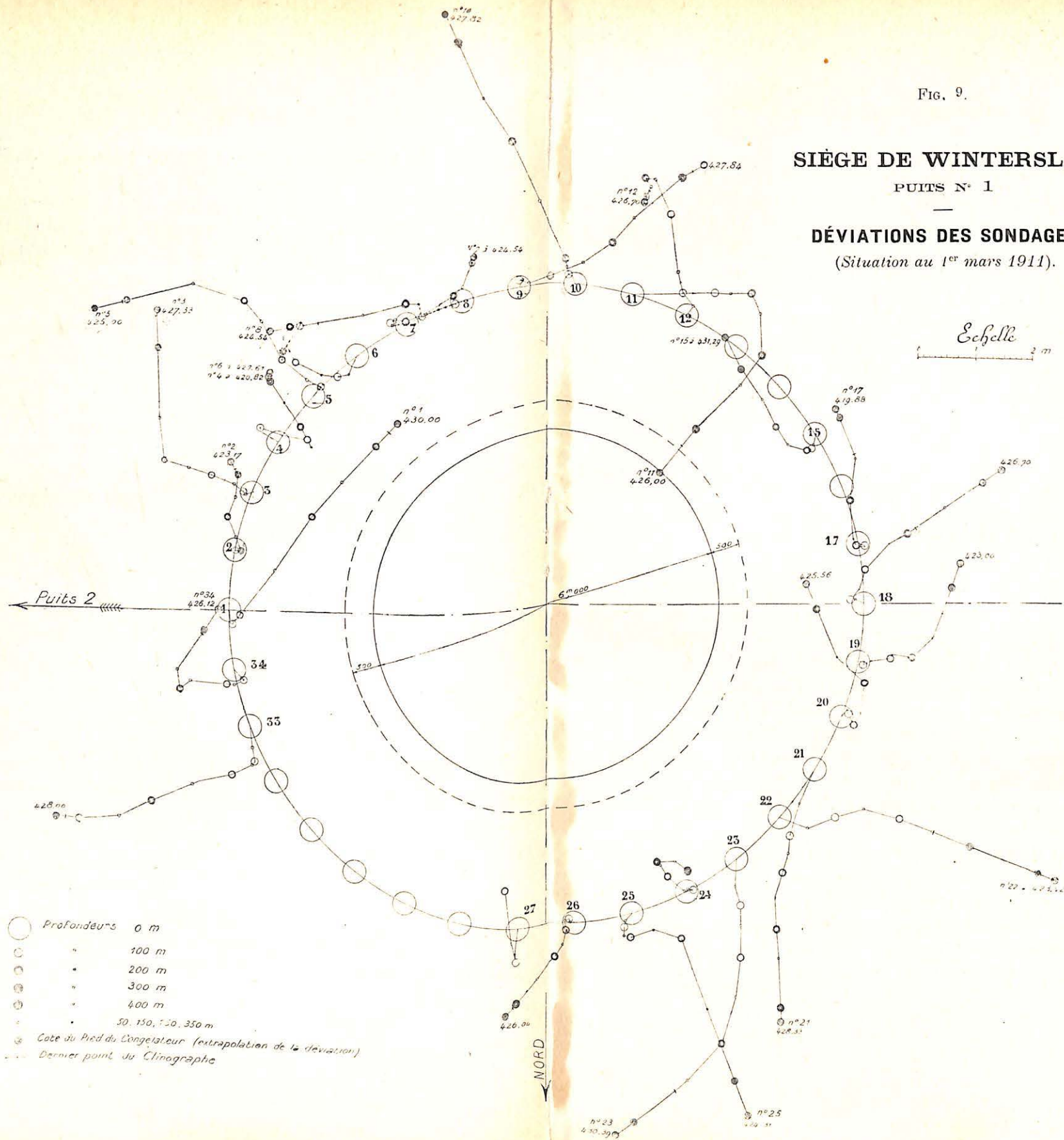
FIG. 9.

# SIÈGE DE WINTERSLAG

PUITS N° 1

## DÉVIATIONS DES SONDAGES

(Situation au 1<sup>er</sup> mars 1911).





La figure 10 donne le plan du sondage n° 33, avec les deux tracés donnés par les observations faites avec l'appareil placé successivement dans des positions à 180° l'une de l'autre. On voit qu'il y a concordance complète. Mais cet exemple pourrait paraître insuffisamment probant à cause de la constance de la déviation en direction. C'est pourquoi nous donnons les figures 11 et 12 relatives au sondage n° 4.

Ce sondage, comme on voit, a une allure fort variable; la figure 11 donne les diagrammes établis directement d'après les résultats enregistrés, et déjà suffisamment concordants.

Mais si l'on élimine l'erreur constante de l'appareil, en faisant à la surface quatre essais sur l'appareil placé verticalement mais subissant des rotations de 90°, — correction qui se traduit en sens inverses sur les observations à 180° l'une de l'autre, — on obtient la figure 12, où les tracés sont tellement concordants qu'on doit mettre leur dualité sur le compte des erreurs de lecture des diagrammes.

En prenant la moyenne des deux tracés, on élimine d'ailleurs et cette erreur constante de l'appareil et dans une certaine mesure, les erreurs de lecture.

Nous avons, au début, fait allusion à la question des explosifs dans les creusements des puits par congélation, à propos du choix de la *nature* des explosifs; au point de vue de la sécurité, une autre question se pose, commune à tous les fonçages: dans ce genre de travaux, le tir par volées s'impose, car il n'est pas possible de songer un instant à remonter les hommes pour les tirs successifs de mines isolées.

Le tir par volées ne va pas, d'autre part, sans comporter des dangers; il se fait exclusivement par l'électricité, l'exploseur étant manié de la surface. Généralement deux volées successives suffiront: une première comprendra les mines de déchaussement vers le milieu du puits, une seconde, la circonférence des mines de paroi. Nous

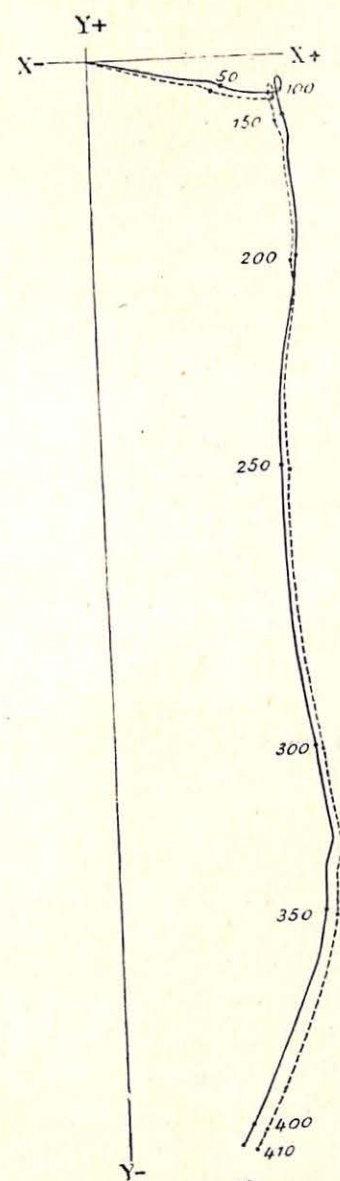


Fig. 10.  
Sondage n° 33.

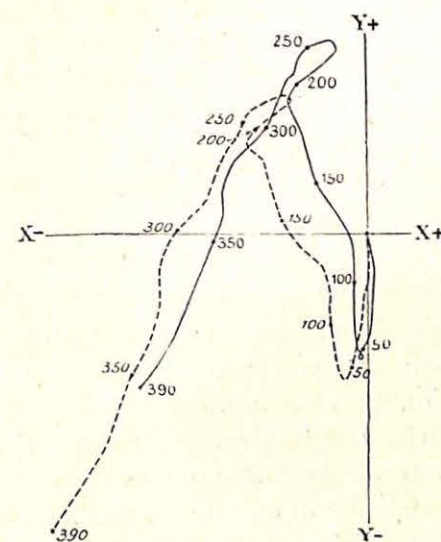


Fig. 11.  
Sondage n° 4: Diagrammes établis sans  
tenir compte de l'erreur constante de  
l'appareil.

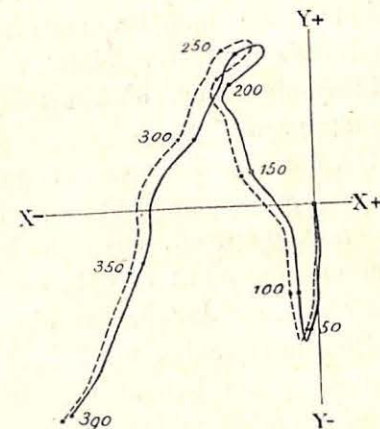


Fig. 12.  
Sondage n° 4: Diagrammes obtenus en  
introduisant la correction de cette erreur.  
Echelle: 1/25.



faisons abstraction des erreurs de connexion si faciles à commettre dans un tel fouillis de conducteurs ; à ce point de vue la disposition en série, une seule chaîne, paraît la plus facile et la moins sujette à erreurs. — Mais, indépendamment de ces erreurs matérielles, dans ces circuits qui peuvent comprendre chacun 10 à 12 mines ou plus encore, la résistance des amorces telles qu'on les trouve dans le commerce joue un rôle considérable. Nous supposons qu'il ne s'agisse que d'amorces à basse tension, les seules à conseiller puisque seules elles permettent un certain contrôle avant usage. Généralement — et encore bien des sociétés n'ont pas ce minimum de contrôle — on se contente de vérifier au galvanomètre que l'amorce laisse passer un courant de faible intensité ; conclusion : l'amorce a une résistance finie, elle est qualifiée bonne.

Mais cela ne suffit pas dans un tir multiple : s'il s'agit de chaînes en dérivations, les amorces de moindre résistance pourront détourner le courant au détriment des autres ; s'il s'agit d'une chaîne en série, le courant est unique, mais dans les amorces de moindre résistance, (le produit  $i^2r$  étant trop faible), le fil pourra ne pas être porté à l'incandescence, d'où raté au milieu des autres mines qui explosent.

Or, dans les fonçages, ces ratés sont d'autant plus dangereux qu'ils passeront inaperçus lorsque les ouvriers reviendront à front, parce que les déblais des mines retombent en masquant l'emplacement primitif des fourneaux ; à la vérité, ce danger est plus grand pour les mines du centre que pour les mines de paroi, parce que celles-ci rejettent généralement vers le centre déchaussé par les premières mines : l'endroit d'un raté s'indiquera rapidement à la paroi restée intacte.

La possibilité d'avoir un raté partiel dans le tir électrique même en série s'est révélée plus d'une fois au cours d'un creusement récent effectué en Belgique par congélation ; lorsqu'on s'apercevait du raté, on parvenait géné-

ralement à faire partir la mine en la branchant seule sur le circuit, ce qui prouvait que dans le circuit général, la résistance trop faible de l'amorce avait empêché l'incandescence du fil.

Il ne suffit donc pas de se contenter d'un essai *negatif* si l'on peut s'exprimer ainsi, constatant que l'amorce n'a pas une résistance infinie, il faut un essai positif donnant quantitativement la résistance de chaque amorce et permettant de grouper les amorces de résistance égale pour un tir simultané. A la suite d'une demande que nous lui avons faite, M. Bry, Ingénieur divisionnaire de l'Entreprise générale de fonçage de puits, acquit un ohmmètre à l'aide duquel on mesurerait dorénavant la résistance de chaque détonateur avant de les employer à une même volée. Les résultats de cette vérification ont été trop instructifs pour que nous ne rapportions ici les chiffres donnés par l'examen du premier mois.

Un premier lot de 25 détonateurs a donné les résultats suivants, les résistances étant exprimées en ohms :

1 détonateur . $R = 1.14$	3 détonateurs . $R = 1.44$
3 — . . . . . 1.26	3 — . . . . . 1.5
12 — . . . . . 1.3 à 1.4	3 — . . . . . 1.6

Différents lots de détonateurs d'une autre provenance, comportant au total 217 détonateurs, ont donné :

77 détonateurs . $R = 0.9$ à $1.0$	24 détonateurs . $R = 1.2$ à $1.5$
77 — . . . . . 1.0 à 1.1	2 — . . . . . 1.5 à 2.0
33 — . . . . . 1.1 à 1.2	
4 détonateurs de résistance infinie (défectueux).	

Enfin, 100 autres détonateurs ont fourni la répartition suivante :

4 détonateurs . . . . . $R = 2.1$	9 détonateurs . . . . . $R = 2.65$
16 — . . . . . 2.2	10 — . . . . . 2.7
19 — . . . . . 2.3	4 — . . . . . 2.8
19 — . . . . . 2.4	2 — . . . . . 3.0
17 — . . . . . 2.5	



On voit donc la résistance varier de 50 % dans un même lot de détonateurs. C'est dire la nécessité, pour les sociétés qui ont un réel souci de la sécurité de leur personnel, de vérifier au préalable la résistance des amorces à employer dans un tir simultané, pour permettre de choisir des unités d'égale résistance. Une autre précaution est de procéder avec grande prudence à l'enlèvement des pierres projetées par les mines, surtout par les mines du centre.

Un point qui mérite une attention particulière, dans les fonçages de puits, est la question du sauvetage éventuel de l'équipe occupée au creusement, lors de la rencontre d'un danger soudain : irruption d'eau, de sables, etc. Dans les puits munis d'échelles, celles-ci suffisent généralement à assurer la retraite du personnel; mais si leur emploi ne soulève pas de graves objections dans les creusements ordinaires, il n'en est pas de même dans les puits creusés par congélation : outre que l'aménagement d'un compartiment aux échelles dans la passe en creusement créerait l'obligation d'entamer les parois pour l'établissement des supports nécessaires, opération présentant toujours un certain danger, — la circulation sur les échelles dans tout le puits, aussi bien dans la partie déjà cuvelée que dans la passe inférieure, présenterait de grosses difficultés et même de réels dangers parce que échelons et montants se couvriraient de glace (1).

D'autre part, le sauvetage par cuffats n'offre pas toute garantie : d'abord, le cuffat peut ne pas se trouver au fond au moment du besoin ; il ne pourra, dans nos puits à grand diamètre, recevoir avec sécurité toute l'équipe travaillant

(1) L'art. 6 de l'A. R. du 10 décembre 1910 prescrit en Belgique l'établissement d'échelles dans tous les nouveaux puits ou approfondissements. Cet article, comme tous ceux de cet arrêté d'ailleurs, est susceptible de dérogation dans des cas spéciaux et sous réserve de conditions assurant une sécurité égale. Le fonçage par congélation pourrait être un de ces cas spéciaux.

au fond : généralement 4 hommes peuvent prendre place sur un cuffat ; en cas de besoin, supposons même qu'on puisse en loger 6 ou 7, cela ne suffira pas dans des puits de 6 mètres où la force des équipes atteindra certainement 12 hommes.

L'emploi de deux treuils *indépendants* diminuerait sans aucun doute le danger et permettrait un sauvetage plus rapide et plus efficace, d'autant plus que cette disposition exigera généralement le guidage des cuffats, d'où possibilité d'une vitesse plus grande. (Ce système est notamment employé, à notre connaissance, aux avallereses de l'Héribus du Levant-du-Flénu).

Néanmoins les deux cuffats peuvent manquer au moment du besoin ; nous signalerons une solution qui nous paraît particulièrement heureuse et que nous avons vu employer dans un chantier de l'Entreprise générale de fonçage de puits (aux avallereses de La Louvière) ; une échelle en fer, (fig. 13, 14 et 15) entourée d'un fuselage en fers **T** et fers plats qui la transforme en une sorte de cage, est suspendue, à front de creusement, à un câble relié à un treuil spécial à la surface ; en cas d'alerte, les ouvriers prennent place dans cette échelle qui peut être remontée aussitôt. La disposition de cette échelle de sauvetage offre un appui au dos de l'ouvrier et empêche toute chute pendant la remonte.

Par les croquis ci-contre, on voit qu'elle se compose de tronçons de 5 mètres, assemblés par boulons et comportant chacun un palier *A* ; comme ces paliers pourraient présenter une difficulté pour la descente, on remarquera que leur bord est échancré au milieu suivant un demi-cercle, ce qui permet à l'ouvrier de soulever le plancher à l'aide du pied.

Des fers *b* forment des anneaux à 1 mètre de distance.

Pour être moins encombrante au fond, l'échelle se termine à sa base par un tronçon sans filet.



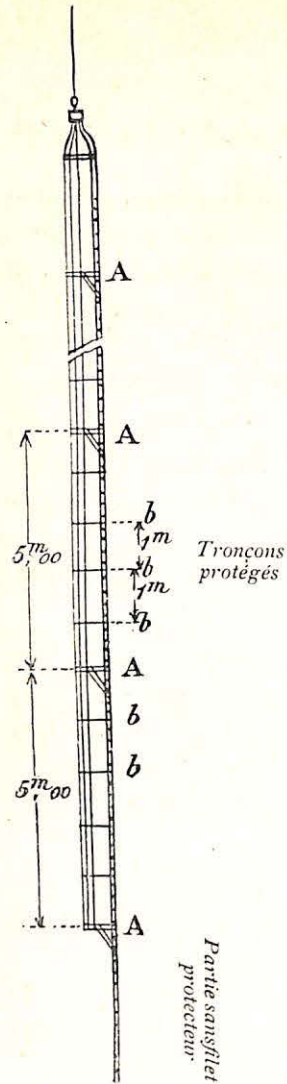


Fig. 13. — Schéma de l'échelle.

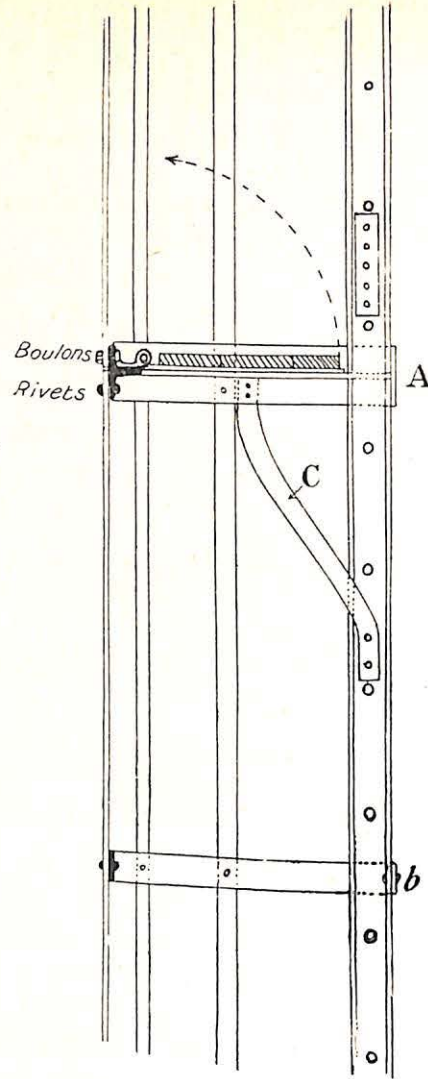


Fig. 14. — Détails montrant la disposition des paliers et l'agencement des tronçons de 5 mètres.

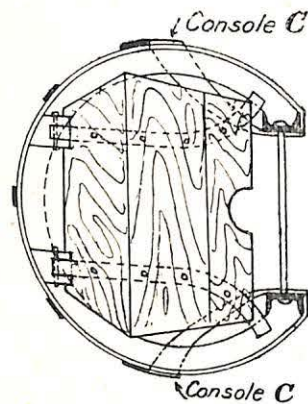


Fig. 15. — Vue en plan au niveau d'un palier A.

Cette échelle nous paraît un excellent dispositif à appliquer dans les puits en creusement par congélation, de même que dans les puits destinés à être murillés, pour la passe en creusement; en effet, la confection du revêtement en maçonnerie exigerait la démolition du compartiment aux échelles à peine établi. Dans ce cas, ces échelles seraient poursuivies jusqu'au plancher des maçons. D'après les renseignements que nous possédons, c'est même le cas de muraillement et creusement simultanés qui a donné naissance en Allemagne à ces échelles suspendues, primitivement rectangulaires, et auxquelles M. l'Ingénieur Bry a donné la forme circulaire pour diminuer l'encombrement et faciliter l'engagement dans l'orifice d'un plancher.

Une échelle volante d'un autre genre qui mérite d'être signalée aussi est celle que nous avons vue aux avalle-resses de l'Héribus; des câbles plats en acier forment les montants de l'échelle, sur lesquels sont rivés des échelons en fer; elle est constituée de tronçons terminés par des crochets où s'engagent des boulons. Les échelles sont suspendues à un treuil de la surface. Elles offrent évidemment moins de garantie que les précédentes par leur rigidité moindre, leur absence d'appui et de paliers, mais elles sont remarquablement plus simples et très légères et peuvent même s'enrouler sur un tambour.

Le manque de protection des ouvriers occupés au creusement des puits a suscité plus d'un accident et l'arrêt du 10 décembre 1910, auquel nous faisons allusion plus haut, a voulu les enrayer en prescrivant une série de mesures dans son article 13: chargement modéré des cuffats, qui ne peuvent être remplis à plus de 10 centimètres du bord, assujettissement convenable des objets dépassant les bords, crochets présentant toute garantie, établissement de paliers de sûreté.

Sous le rapport des crochets, le type dit crochet allemand, à ressort, paraît manquer de la robustesse exigée de



tous les appareils employés aux fonçages de puits; un ressort dans ce genre de travaux paraît peu recommandable; à la vérité on peut avoir un ressort enroulé en spirale et protégé, qui offre plus de garantie d'efficacité. Nous préférons le crochet fermé à l'aide d'une broche que nous avons vu employer par l'Entreprise générale de fonçage de puits et que nous reproduisons ci-contre (fig. 16, 17 et 18); la broche ou clavette qui assure la fermeture du

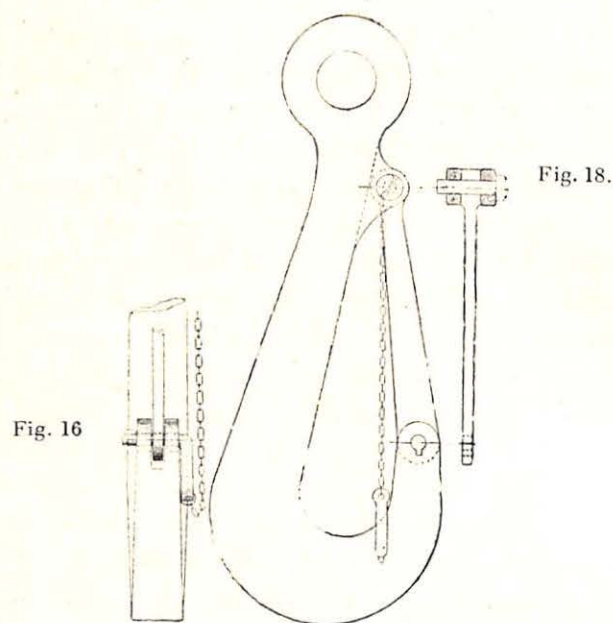


Fig. 16

Fig. 17.

Fig. 18.

Crochet employé à l'Entreprise générale de fonçage de puits.

crochet porte un ergot qui ne peut s'effacer que lorsqu'il est tourné vers le bas, circonstance rendue impossible par le poids du marteau qui termine la clavette à l'autre extrémité: ce contre-poids maintient l'ergot vers le haut. On voit cette clavette suspendue à la chaînette qui la retient au crochet dans la figure 17; on la voit remplissant

son office de fermeture à la figure 16. Au point de vue de la sécurité, ce crochet présente toute garantie; on peut lui reprocher une certaine lenteur dans les manœuvres. Un autre type, utilisé aux chantiers de la Société Franco-Belge de fonçage de puits, et qui n'est pas nouveau du reste, est le crochet à double hélice que les ouvriers dénomment *queue de cochon*; il allie à une sécurité notable une plus grande facilité de manœuvre au décrochage (fig. 19). Mais il reste un certain risque de voir la charge se transmettre, au démarrage, par un point autre que la base du crochet, ce qui réaliserait une suspension dangereuse propice à la rupture par flexion ou au décrochage par rotation.



Fig. 19.

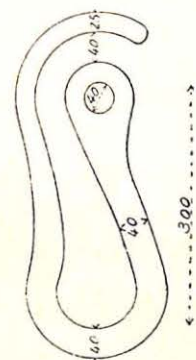


Fig. 20. — Crochet employé au Charbonnage du Fief de Lambrechies

Un autre type qui nous a été signalé, il y a quelque temps déjà, par la Direction du Charbonnage du Fief de Lambrechies, semble parer à cette éventualité par la forme allongée du crochet qui assure la mise en tension toujours par la base (fig. 20).

Plus difficile semble l'établissement des paliers de sûreté protégeant les ouvriers occupés au fond; évidem-



ment l'orifice des puits doit être aménagé de façon qu'aucune chute de matériaux ne puisse se produire pendant les manœuvres de chargement et déchargement des cuffats; la chose est aisée et réalisée dans la plupart des fonçages : des trappes maintenues relevées pour l'arrivée des cuffats chargés se referment après que ceux-ci ont dépassé la recette; sur les rails établis sur ces trappes ou volets, on glisse un truck portant deux flasques terminées par deux encoches ou pivots ouverts où il suffit de faire pénétrer les tourillons que porte le cuffat en laissant redescendre légèrement celui-ci : on décroche le cuffat et l'on roule le truck loin du puits, à l'endroit du déversement des déblais; l'opération inverse est aussi simple.

En Allemagne on préfère souvent, pour accélérer les manœuvres, basculer le cuffat soulevé à une certaine hauteur et amené à la gueule d'une trémie *ad hoc*. Ce dispositif ne change rien à la nécessité de protéger l'orifice du puits.

Ces planchers de surface ont pour but d'empêcher les chutes de matériaux de la surface, mais il reste le risque de chutes de pierres ou objets se détachant des parois sur la hauteur du puits.

On a objecté que des planchers établis dans le puits iraient, en cas de chute d'un cuffat ou d'une lourde pièce, s'abîmer au fond, occasionnant la mort certaine d'ouvriers qui, par hasard, auraient pu ne pas être atteints; on peut déjà répondre qu'il y a aussi des chances que ce plancher, en s'effondrant, crée au contraire un abri sous lequel certains ouvriers restent sains et saufs. De plus cette éventualité est exceptionnelle, tandis que la chute de menus objets, est une circonstance qui peut se présenter, malgré toutes précautions, plusieurs fois quotidiennement. Ces objets, dont la chute directe sur un ouvrier peut

occasionner la mort, seront retenus efficacement par le plancher de sûreté et cela suffit à justifier son emploi.

Reste l'ouverture de passage du cuffat qui constitue une difficulté spéciale; parfois un homme placé au niveau du plancher, dans une niche spéciale, manœuvre la trappe aux moments du besoin; d'autres fois (disposition vue, notamment dans un petit puits au pays de Liège), cette trappe se manœuvre du fond par contre-poids.

Dans la partie déjà cuvelée, le danger des chutes est évidemment très faible et à peu près nul; cependant dans la congélation, en cas de légers suintements, il peut se détacher à la longue des morceaux de glaçons; c'est pourtant cette partie qui se prête le plus facilement à l'établissement d'un plancher: celui-ci repose sur les brides du cuvelage par l'intermédiaire de verrous.

Quant à la passe en creusement, tandis que dans les procédés ordinaires et surtout dans le terrain houiller, on trouve facilement des assises permettant l'établissement d'un solide plancher, il n'en est pas de même dans la congélation, où l'on devrait entamer la paroi congelée. Il semble qu'une solution, dans ce cas, est d'avoir recours à un plancher volant, suspendu par des chaînes ou amarres appropriées à la partie de cuvelage déjà établie et qui suit, à une certaine distance, le front de creusement.

L'Entreprise générale de fonçage de puits a, dans certains cas, posé un plancher de protection dans la passe de creusement en engageant les poutrelles dans des potelles creusées dans les parois et que l'on remplit ensuite de sable mouillé, ce qui forme un excellent scellement.

Dans les fonçages modernes, les planchers bien étudiés simplifient beaucoup le travail de la pose du cuvelage et en accélèrent la rapidité. Mentionnons le plancher de la Société Franco-belge de fonçage de puits: il comprend une partie centrale, autour de laquelle, pour les manœuvres



Fig. 21.

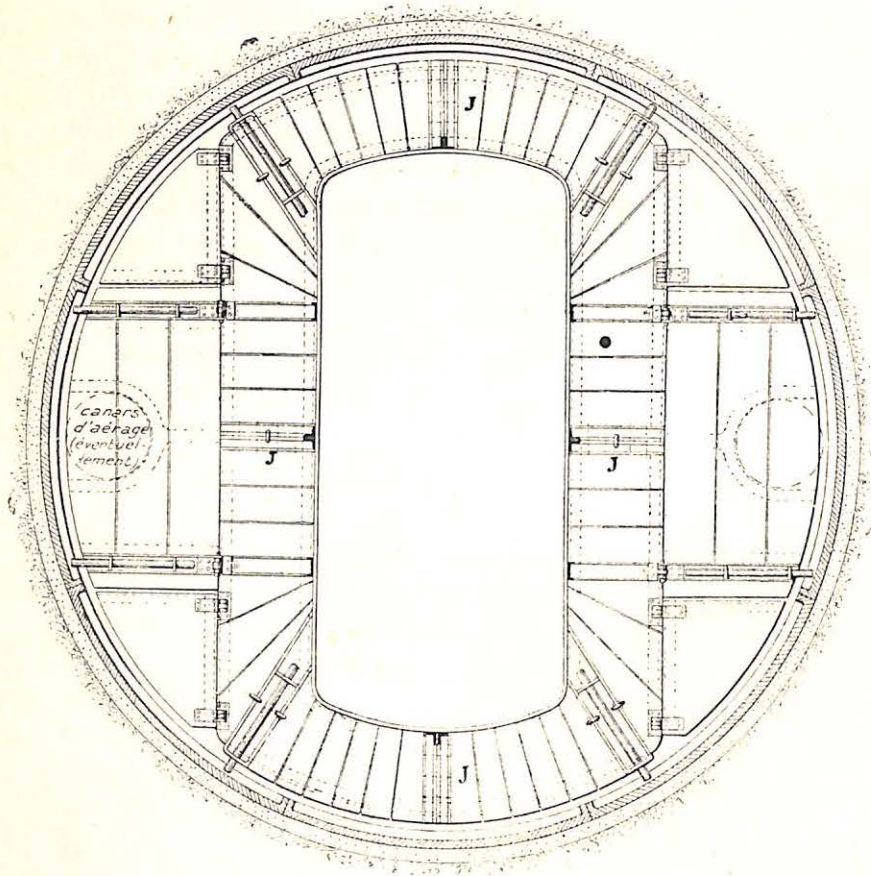
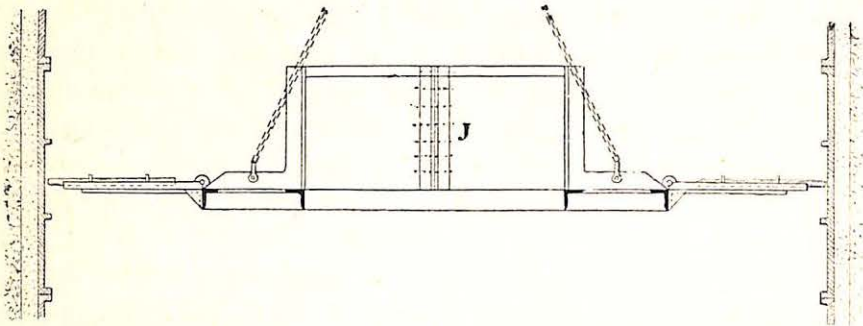


Fig. 22.

de descente et de remonte, les segments peuvent se replier (fig. 21 et 22). Au centre, un espace rectangulaire sert de passage aux cùffats. Pendant la pose du cuvelage, cette ouverture est couverte de madriers; le plancher est remonté successivement après la pose d'un anneau; l'opération marche très rapidement, les ouvriers étant à l'aise dans la section du puits et pouvant travailler en plusieurs points sans se gêner mutuellement.

Le plancher est suspendu par six chaînes à un fort câble manœuvré de la surface. De légères modifications adaptent ce plancher au cas de creusement et muraillement simultanés.

Bruxelles, avril 1911.

