

L E
BASSIN HOUILLER
DU NORD DE LA BELGIQUE

[55175 : 622 (4931 + 4937)]

Mémoires, Notes et Documents

DE LA
RECONNAISSANCE DES TERRAINS

PAR LES

Procédés modernes de sondage

PAR

A. RENIER

Ingénieur au Corps des mines, à Liège,
Ingénieur géologue.

[62224]

De toutes les applications si nombreuses et si variées de l'art des sondages, la plus importante et la plus intéressante est, sans contredit, la reconnaissance des terrains. L'exploration du bassin houiller de la Campine en est un exemple remarquable. Cependant, si l'accord est unanime parmi les ingénieurs pour reconnaître l'importance et la réelle valeur des perfectionnements apportés durant ces dernières années à la technique du sondeur, ce n'est qu'avec une réserve plus ou moins grande que l'on accepte les renseignements fournis par ces travaux. Cette conduite est bien naturelle.

La littérature technique se compose en effet presque exclusivement de la description du matériel et du mode de travail. Ce n'est qu'incidemment, et toujours d'une façon sommaire, qu'on examine les résultats. Encore la seule base de comparaison est-elle généralement la profondeur atteinte ou la rapidité d'exécution. Cependant si pour le sondeur toute la question se résume en ceci : faire un trou, le pousser le plus profondément et l'exécuter le plus rapidement possible, il n'en est pas de même pour celui qui fait exécuter un sondage afin de reconnaître les terrains. Il importe qu'il possède le plus grand nombre de renseignements précis et qu'il soit exactement fixé sur le degré d'exactitude propre à chaque procédé. C'est en vue de chercher à combler cette lacune de la littérature technique, que nous avons écrit ce mémoire. Nous n'ignorons ni la difficulté de la tâche, ni la faiblesse de notre expérience. Sans ambitionner de faire œuvre complète, nous osons espérer intéresser le lecteur et l'inciter à poursuivre personnellement ces études critiques.

Vu, sinon la nouveauté, tout au moins le peu de publicité des principaux procédés de sondage, nous ferons précéder leur étude critique d'une description sommaire, afin de mettre le lecteur à même de juger de la valeur de nos conclusions.

Cette étude nous a d'ailleurs été grandement facilitée par les renseignements que nous ont fait obligeamment parvenir les principales firmes qui ont exécuté des sondages en Campine, et spécialement : M. Henri Verbunt, à Bruxelles; M. C. Deilmann, à Dortmund; La *Internationale Bohrgesellschaft A. G.* (Raky), à Erkelenz; la *Gute Hoffnung* « Tiefbohr Gesellschaft » (Vogt et C^{ie}), à Niederbrück (Alsace); la *Tiefbohr Aktiengesellschaft, vormal's Hugo Lubisch*, à Dusseldorf; la *Société minière du Nord-Est belge*, à Bruxelles, ainsi que MM. Trauzl et C^{ie}, de Vienne.

Nous les prions d'agréer tous nos remerciements.

Dans une première partie, nous examinerons la reconnaissance des terrains en général. La seconde partie sera plus spécialement consacrée à l'étude des procédés de constatation des couches de houille.

PREMIÈRE PARTIE

De la reconnaissance des terrains par sondage en général.

Le but de la reconnaissance des terrains par sondage, est d'en établir la coupe suivant une ligne déterminée. C'est principalement à l'aide d'une collection aussi continue que possible de bons échantillons de roches, que l'on atteint ce but. Cependant dans presque tous les procédés, il y a également lieu de tenir compte des variations de la vitesse d'attaque, soit comme complément des observations faites sur échantillons, soit comme avertissement presque instantané des variations de composition. Notre programme est de rechercher quelle est la sensibilité de chaque procédé de sondage et de fixer la mesure dans laquelle il fournit de bons échantillons de roche.

Nous supposons toujours que la stratification des terrains est perpendiculaire à l'axe du trou. S'il en était autrement, il existerait une zone de transition, sur toute la hauteur où deux couches de natures différentes seraient intéressées, zone dans laquelle la vitesse d'avancement tiendrait de celles propres à chacune des couches, et qui, sauf dans les procédés fournissant des témoins, donnerait des échantillons mélangés.

∴

Comme il arrive souvent en technique, les anciens procédés de sondage n'ont pas été complètement supplantés par les systèmes nouveaux. Ils conservent tout leur intérêt pour des recherches de peu d'importance et de faible profondeur.

Dans les terrains meubles, qui n'exigent pas une désa-

grégation préalable, on utilise toujours avec succès la cloche à clapet, à boulet ou à soupape. Les matériaux que ramène la cloche, proviennent uniquement de la tranche forée, si l'on a soin de faire suivre le tubage. Comme l'avancement est en général assez faible, on peut dire que la reconnaissance progresse d'une façon nette et précise. Il y a évidemment lieu de tenir compte de ce que les secousses de battage produisent un setzage des matières contenues dans la cloche, qui a pour conséquence d'amener à la partie supérieure les fines particules de l'échantillon. Toutefois celui-ci est complet, et on peut, après mélange, considérer comme moyenne la prise qu'on y fait.

Les matériaux recueillis à la cloche peuvent être d'une certaine dimension et ne sont pas nécessairement pulvérents. On peut espérer notamment y retrouver des débris de coquillages suffisamment grands pour être encore déterminables, bien que le battage soit de nature à provoquer un certain bris.

La tarière n'est employée que pour des terrains tendres et compacts, généralement argileux. Elle fournit des témoins peu altérés. Ce procédé a cependant perdu de son importance par suite du développement de l'emploi des sondes à rodage.

Dans le cas le plus fréquent, la nature du terrain exige une désagrégation préalable; on doit alors recourir à l'emploi du trépan. Les chocs répétés ont pour effet de pulvériser la masse et de provoquer la formation au fond du trou d'une nappe de boue (grâce à la présence d'une nappe d'eau, qu'on entretient au besoin). La présence de cette boue est de nature à masquer, en amortissant l'effet du choc, la rapidité d'avancement. Il en est de même jusqu'à un certain point de l'emploi de coulisses ou de chutes libres. Le curage du trou se fait encore à la cloche. Mais il est à noter que si les roches se soutiennent bien, on

se dispense généralement de faire suivre le tubage. L'échantillon que l'on recueille, est donc souillé par les rechutes que provoque le flagellement des parois par les tiges, l'hydratation des argiles sèches, ou l'éboulement lent des parois sous la poussée des terrains supérieurs.

L'échantillon recueilli ne représentera que la moyenne de la passe. On aura donc soin de cesser le forage, et de curer soigneusement le trou, s'il survenait une variation de vitesse d'avancement, trahissant une variation profonde dans la nature des terrains.

La détermination de la nature d'une roche à l'aide de boues est toujours très délicate. De là résulte le défaut principal de ce procédé.

On y remédie dans une certaine mesure, dans le cas de terrains suffisamment compacts, en isolant à l'aide d'un trépan creux une carotte de roche qu'on détache ensuite en se servant d'un arrache-témoin. Mais cette opération, toujours lente, ne peut être répétée qu'à intervalles plus ou moins longs. Il en résulte une grande discontinuité dans les renseignements, discontinuité qui est surtout préjudiciable, si les variations dans la nature des roches sont nombreuses et rapides.

Ces faits rappelés, examinons à présent les procédés de sondage modernes.

Ceux-ci se caractérisent, comme on le sait, par l'emploi d'un courant d'eau continu, qui entraîne, au fur et à mesure de leur formation, les déblais provenant du forage. C'est surtout au point de vue de la rapidité d'exécution et, comme conséquence, de la diminution des chances d'accident et de l'augmentation, dans des proportions inespérées, de la profondeur limite des recherches, que ce perfectionnement a eu et conserve toute son importance.

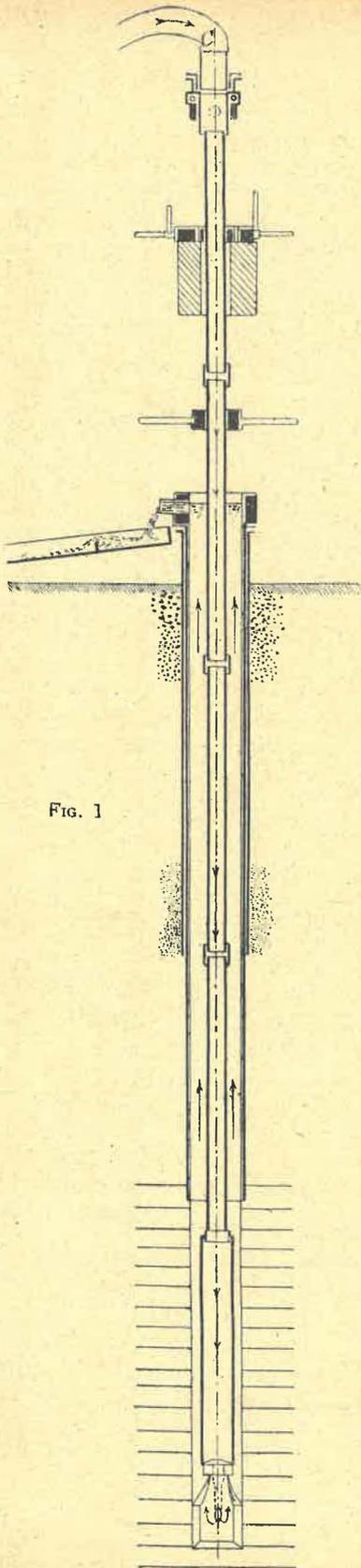


FIG. 1

Il en est résulté une modification profonde du matériel.

Dans tous ces systèmes de sondage, les tiges sont composées de tubes en acier, réunis par manchons filetés. A la partie inférieure, on adapte l'appareil d'attaque, variable suivant les procédés; à la partie supérieure, se trouve un touret, qui permet la libre rotation des tiges et le passage du courant d'eau de celles-ci à la conduite fixe par l'intermédiaire du tuyau en caoutchouc *c* (fig. 1 et 2).

Il existe deux variantes de forage à courant d'eau :

La première est la plus courante, et pour cette raison, n'a pas reçu de dénomination spéciale. Le courant d'eau, foulé par une pompe, arrive par le tuyau *c*, descend dans le trou par l'intérieur des tiges, et remonte par l'espace annulaire compris entre les tiges et la paroi du trou, en emportant les boues de forage (fig. 1). Un déversoir le dirige alors vers le tamis, les sluices et finalement les étangs de décantation, où s'alimente la pompe foulante.

La seconde variante est dite à courant renversé (fig. 2), parce que le sens du circuit parcouru par le courant à l'intérieur du trou

est inverse de celui du cas précédent. La tête du tubage est recouverte par un plateau que la tige traverse par une boîte à bourrage.

Le principal avantage du courant renversé est, au point de vue où nous nous sommes placés, qu'il offre aux déblais une grande section de passage, bien que la vitesse du courant soit très considérable. Les échantillons peuvent donc avoir un certain volume.

La récolte des échantillons boueux à l'aide du courant d'eau continu comporte certaines conséquences que nous devons examiner d'abord.

Le courant d'eau entraîne les déblais au fur et à mesure de leur formation; il les entraîne grâce à sa vitesse dont l'action est contrariée par celle de la pesanteur qui tend à faire redescendre au fond du trou les grains de roche dont la densité est supérieure à celle de l'eau.

Il s'opère donc durant la remonte des déblais, depuis le fond jusqu'au jour, une préparation mécanique des farines produites au même instant, qui a pour conséquence de les étaler sur toute la hauteur de la colonne; cet étalement est d'autant plus accentué que la roche forée est moins homogène, la hauteur de la colonne plus grande et la vitesse du courant moins forte.

Bien plus, le forage est continu. Et les farines produites successivement se mélangent, les produits les plus légers et les plus fins de l'attaque d'un banc se mêlent aux grains les plus denses et les plus gros provenant de l'attaque du banc supérieur. Ce mélange est évidemment d'autant plus accentué que la rapidité de forage est elle-même plus grande. Toutefois ces conséquences sont peu graves quand il s'agit d'assises puissantes qui ne présentent sur toute leur hauteur que de faibles variations de composition. Elles peuvent au contraire devenir extrêmement importantes dans le cas où la sonde traverse des lits minces de roches de nature spéciale.

En thèse générale, on peut donc dire que sans précautions spéciales, les échantillons recueillis ne présentent que la moyenne des roches, moyenne qui dans certains cas est sans signification.

Ces échantillons sont d'ailleurs toujours incomplets. En effet, les particules les plus grosses peuvent rester au fond du trou, si le courant d'eau ne possède pas une vitesse suffisante pour les entraîner. Mais ce n'est pas pour cette raison surtout que l'échantillon est incomplet. Ce qui lui manque le plus souvent, ce sont les constituants les plus légers et les plus fins.

En effet, on ne peut en raison de la grande masse d'eau dans laquelle ils sont délayés, songer à les recueillir par décantation complète; on se borne souvent à réduire la vitesse du courant en se servant de sluices (fig. 1), ou bien encore on place un tamis au dessous du déversoir.

La valeur de l'échantillon dépendra, dans ce cas-ci, de la finesse des mailles, dans celui-là de la réduction de la vitesse que l'on fera subir au courant.

Enfin, la continuité et la rapidité même du forage contraignent pratiquement le travail d'échantillonnage. Il faut une surveillance continue du courant d'eau pour noter ses variations de composition et isoler les venues successives. De ce fait les limites d'assises ne sont jamais fixées d'une façon bien nette, si la variation de nature n'entraîne pas une variation proportionnelle de la vitesse de forage. En effet, vu l'allure assez variable de la pompe d'injection, et partant les variations considérables de la vitesse du courant d'eau, il est très délicat de préciser le temps nécessaire à la remonte des déblais et de retrouver quel était la profondeur du trou à l'instant où ils ont été produits. Ces observations exigent d'ailleurs un soin que l'on ne peut réclamer du sondeur en travail courant.

Ces considérations sont générales; nous aurons à les préciser et à les compléter pour chaque procédé en particulier. Passant à présent à la description de ces procédés, nous examinerons successivement :

- 1° les sondes à draguage;
- 2° les sondes à percussion;
- 3° les sondes à rodage.

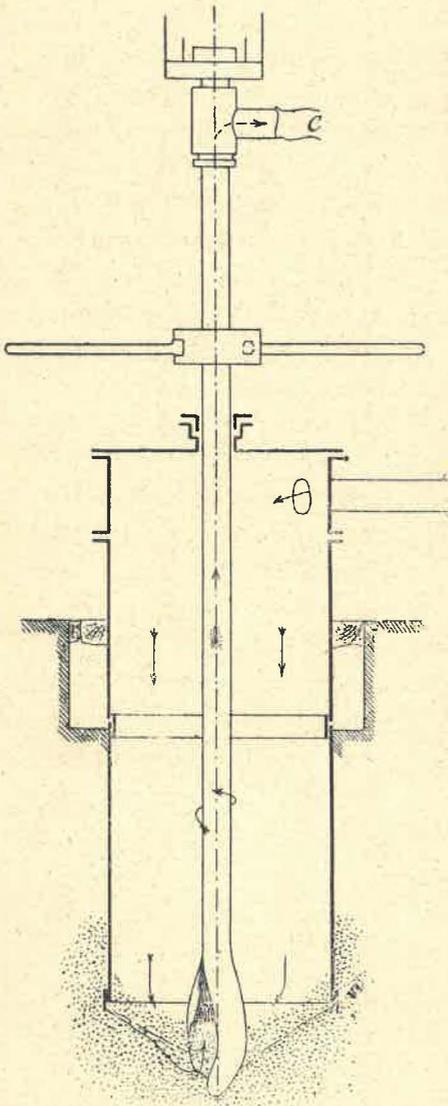


FIG. 2.

Si nous avons qualifié de sondes à draguage le premier type d'appareils, que nous avons à étudier, c'est faute de dénomination mieux appropriée. Les sondeurs allemands l'appellent tarière à courant d'eau (*spulschappe*); mais, ainsi que le lecteur pourra en juger, la tarière n'y joue le rôle d'appareil d'attaque que dans une mesure très limitée. Les applications se limitent d'ailleurs aux roches incohérentes. La figure 2 représente schématiquement l'ensemble du procédé (en coupe). Sa compréhension ne nécessite, pour ainsi dire, pas d'explications. On travaille à cou-

rant renversé. Les tiges, terminées au bas par une tarière, sont mises lentement en rotation. Le courant d'eau, de grand débit, s'engouffre dans la tarière et entraîne avec lui les sables et graviers. Il se crée ainsi au fond du trou un cône dont les parois s'éboulent petit à petit. La descente du tubage se fait d'une façon continue. C'est, comme on le voit, l'idée dont l'application en grand a conduit au procédé Pattberg.

On ne peut évidemment tirer aucun enseignement des observations de la vitesse d'avancement, car l'éboulement des talus du cône force à relever fréquemment la tarière, qui, sans cela, serait ensevelie. Les échantillons recueillis sont d'ailleurs peu altérés, et vu la grande vitesse du courant, sont, hormis les pertes au tamis, aussi complets que possible. Les coquillages que renferment les sables, sont souvent encore déterminables. Il faut remarquer cependant que les échantillons proviennent de toute la hauteur du talus et sont de ce fait quelque peu mélangés.

Le procédé n'est d'ailleurs applicable, comme nous l'avons dit, qu'aux roches incohérentes. On l'emploie aussi comme moyen de sauvetage pour repêcher des débris de quelque volume, que le trépan ne parvient pas à pulvériser, ou encore pour le forage de roches tendres et se broyant à sec, ainsi que nous le dirons en traitant de la constatation des couches de houille.

Les sondes à percussion sont d'un intérêt beaucoup plus grand que les sondes à draguage, parce qu'elles sont d'un emploi plus général et partant plus fréquent. L'appareil d'attaque se compose de deux parties : le trépan et les tiges lourdes, qui, placées immédiatement au-dessus du trépan, servent à lui donner une masse suffisante (fig. 1). Généralement, on travaille à courant d'eau normal. On se

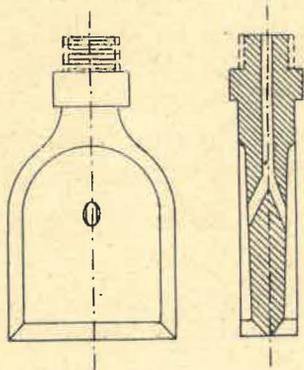


FIG. 3.

sert alors d'un outil à lame unique ou multiple, dont le type le plus simple et le plus courant est représenté par la figure 3. Le courant d'eau, après avoir traversé les tiges ordinaires et les tiges lourdes, s'échappe par deux canaux débouchant sur les faces de la lame. Certains sondeurs, préférant employer le courant renversé, adoptent un trépan annulaire (représenté par la figure 4) à dents parallèles, qui façonne au centre un témoin de roche. Lorsque celui-ci se détache, il est enlevé par le courant d'eau et ramené au jour en même temps que les farines provenant du forage de la surface annulaire.

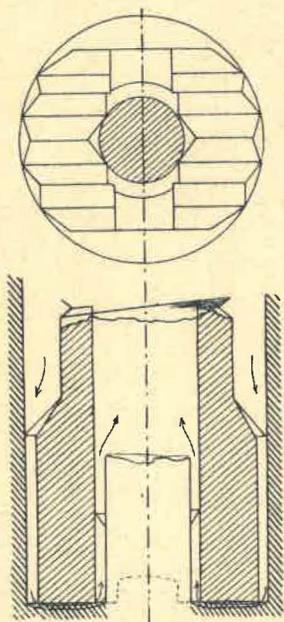


FIG. 4.

Dans tous les sondages modernes à percussion, la frappe est rapide et de faible amplitude. L'emploi du courant d'eau serait en effet très difficile, sinon impossible, s'il fallait faire usage de coulisses ou de chutes libres (1). La masse percutante, trépan et tiges lourdes, est donc reliée directement aux tiges de suspension. Pour éviter l'influence des effets d'inertie qui serait absolument désastreuse aux profondeurs considérables atteintes dans presque toutes les

(1) Cependant certains sondeurs en grand renom, tel Koëbrich, emploient une chute libre, celle de l'abian, appropriée pour le passage du courant d'eau.

recherches, on a recours à une suspension élastique. Au repos, le trépan est arrêté à quelque distance au-dessus du fond. Sous l'influence d'un mouvement alternatif rapide, et grâce au mode de suspension, le trépan dépasse sa position d'équilibre, et commence à frapper le fond aussitôt que la vitesse devient suffisante. Le contact est très peu prolongé, de telle sorte que les tiges ne ressentent que très faiblement les effets du choc.

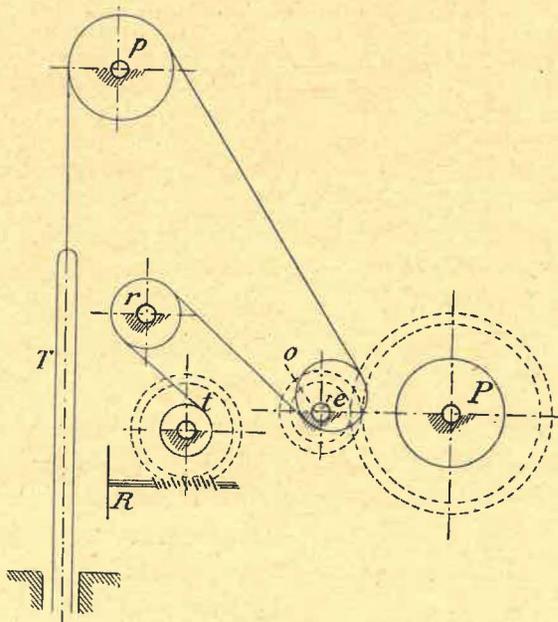


FIG. 5.

Il existe deux types bien différents d'appareils de commande.

L'appareil de Fauck, « *le Rapide* » (1), dont la figure 5 représente le modèle le plus perfectionné, est du premier type. Les tiges *T* sont suspendues par l'intermédiaire d'un treuil *t*. Ce câble passe

(1) Employé par la Maison Trauzl et Cie, de Vienne.

sur la poulie de suspension p , une poulie e calée excentriquement sur l'arbre o , et une poulie de renvoi r . Après avoir descendu le trépan à la profondeur voulue, et laissant le treuil immobile, on communique à l'arbre o un mouvement de rotation par l'intermédiaire de la roue à engrenages P .

Dans ces conditions, les brins pe et re de la corde étant sensiblement parallèles, les tiges et le trépan sont soumis à un mouvement alternatif très rapide d'amplitude égale à quatre fois l'excentricité de la poulie o . La descente se fait au fur et à mesure de l'avancement en agissant sur le treuil à l'aide de la roue R .

Les appareils du second type sont beaucoup plus nombreux. La suspension est rendue absolument élastique par l'emploi de puissants ressorts. Ce serait sortir du cadre que nous nous sommes tracé, que de vouloir même esquisser ici une revue de ces ingénieux appareils. Nous nous bornerons pour fixer les idées à décrire sommairement le balancier Vogt (fig. 6), du même type que le balancier Racky, si souvent figuré.

Le balancier de battage suspendu par l'axe o porte à l'une de ses extrémités la bielle de commande b , à l'autre, les tiges t qui s'appuient par l'intermédiaire des clefs de descente K et K^1 .

La liaison de la bielle au balancier est réalisée par l'intermédiaire d'une plaque p voyageant entre des guides, et placée entre deux systèmes de ressorts r fixés au balancier. Les clefs de descente de leur côté portent sur un plateau articulé relié par ressorts (r') au balancier. De la sorte l'amplitude du mouvement des tiges est supérieure à celle de l'extrémité de la bielle de commande, dès que le nombre d'oscillations par minute devient suffisamment grand.

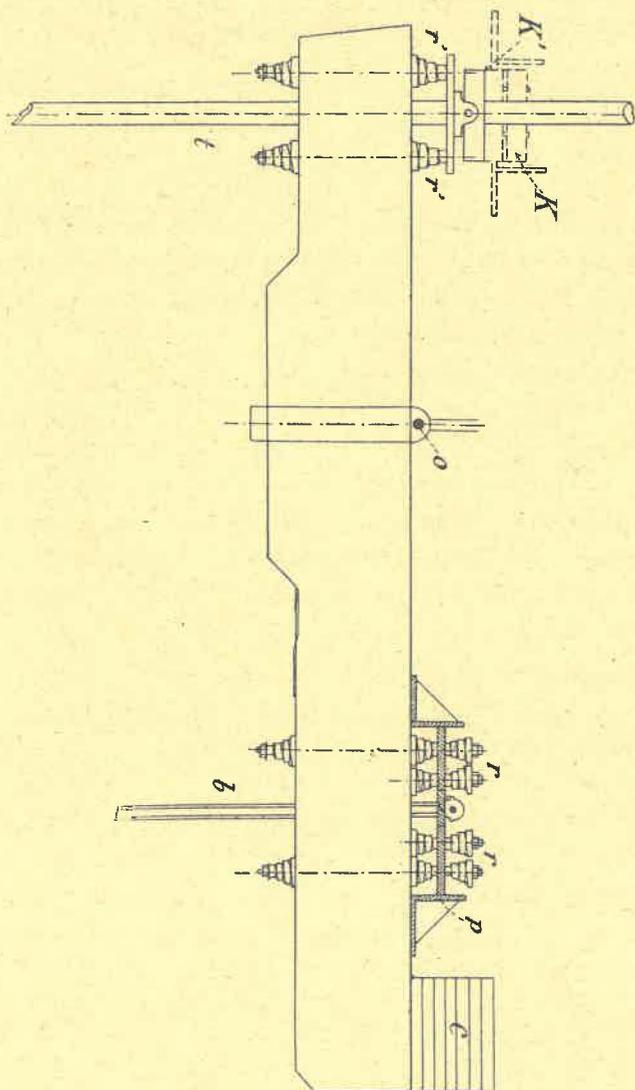


Fig. 6

La descente, durant le forage, se fait généralement à l'aide de clefs que nous ferons à présent connaître. La figure 7 en donne le croquis. La clef se compose de deux parties symétriques assemblées par charnière d'une part, et par un dispositif de fermeture, d'autre part (voyez la vue en plan). Chacune de ses parties se compose essentiellement d'un support et d'une mâchoire *m*, coulissant dans ce support. Le mouvement de cette mâchoire est commandé par le levier *l* par l'intermédiaire d'une vis à laquelle le support sert d'écrou. Les pas des vis des deux mâchoires sont contraires, de telle sorte que la clef étant fermée, un mouvement de rotation donné dans le même sens aux deux leviers a pour effet d'écarter ou de rapprocher les deux mâchoires. La clef étant fermée sur la tige, il suffit donc d'une manœuvre simple et rapide pour l'y caler. Les deux clefs sont superposées à angle droit (fig. 6 et 7). La clef supérieure — brevet Racky — diffère de la clef inférieure en ce qu'elle porte dans quatre cavités cylindriques ménagées dans le support quatre petites tiges avec pistons que chargent des ressorts (voyez le croquis de détail, fig. 7); le prolongement de ces petites tiges fait sur la clef une saillie de 1 ou 2 centimètres.

La descente de la sonde se réalise bien simplement. La clef inférieure étant calée, il suffit de caler la clef supérieure, puis de décaler la clef inférieure. Le poids des tiges de sondage pèse alors sur les ressorts des tiges *r* et les comprime, amenant ainsi plus ou moins rapidement le contact entre les deux clefs. On cale alors la clef inférieure; puis on décale la clef supérieure qui se relève aussitôt par la détente des ressorts. La sonde sera par cette manœuvre descendue de 1 à 2 centimètres.

Si nous avons décrit le système Racky, c'est qu'il représente le type le plus perfectionné. Lorsque la clef supérieure n'est pas différente de la clef inférieure, on doit la remonter à la main, et la descente se fait avec choc.

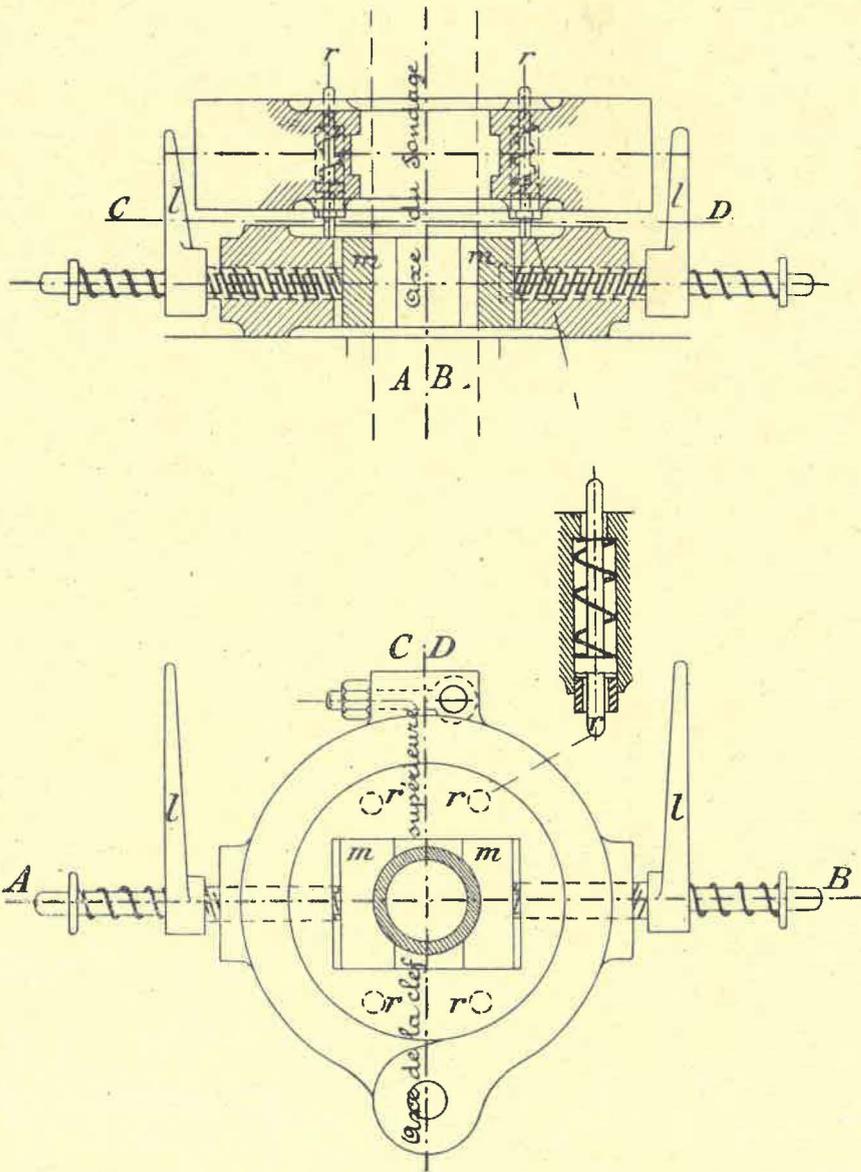


FIG. 7.

La descente, avons-nous dit, se fait généralement à l'aide de clefs. Le procédé « Express » de Fauck (1), quoiqu'à balancier, réalise la descente durant le forage par un dispositif

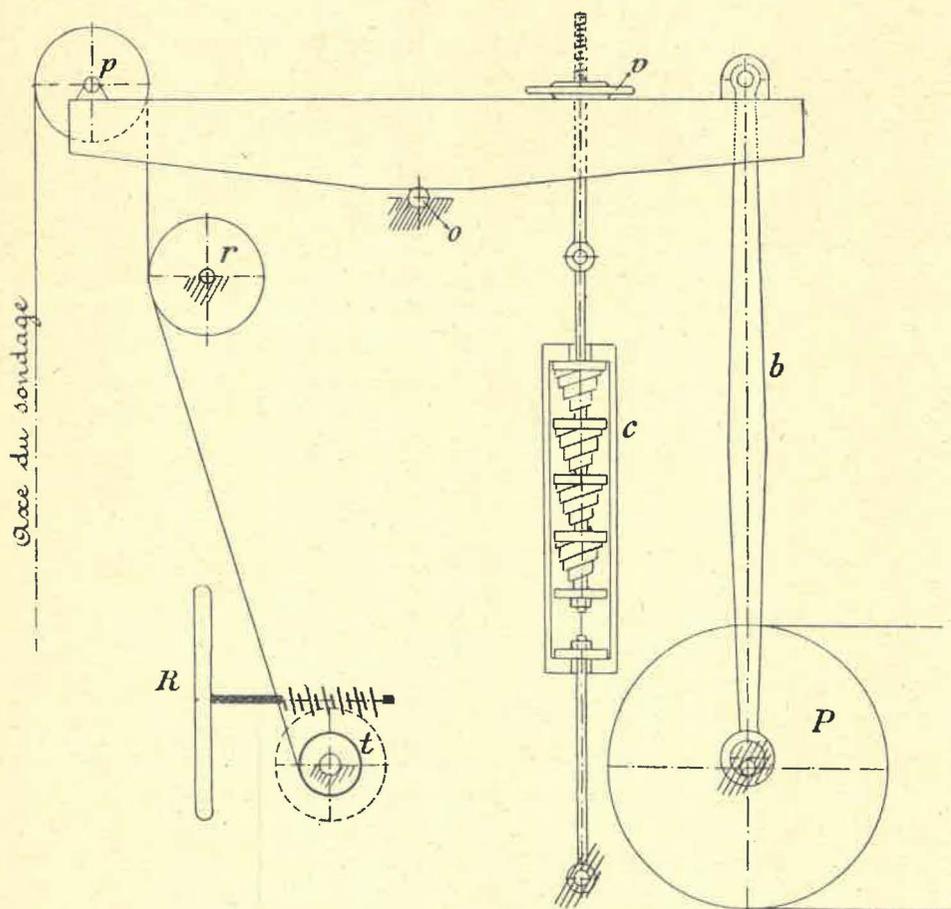


FIG. 7bis.

qui rappelle plus le « Rapide » que le système canadien. La figure 7^{bis} fixe les traits essentiels de l'appareil. Les tiges sont suspendues à l'extrémité du balancier par un câble

(1) Employé par la Société minière du Nord-Est belge.

plat en acier, qui passe sur la poulie de suspension p et la poulie de renvoi r , pour s'enrouler sur le tambour t , que commande le volant à main R . Le balancier, dont o est l'axe d'oscillation, est mù par la bielle b . Une série de ressorts superposés c , agissant sur le balancier par l'intermédiaire de la tige, équilibre partiellement le poids de la sonde. Un volant écrou v permet de régler leur tension. Ils servent également à mettre rapidement en tension les tiges de suspension dès les premiers instants de la levée.

Examinons à présent les résultats que donnent les sondes à percussion. Dans le cas le plus fréquent, on travaille, nous l'avons dit, à courant d'eau normal; c'est donc à l'état de boues qu'on recueille les échantillons de roches. Ces boues sont d'autant plus fines que le diamètre est plus grand; car en vue de simplifier le matériel, on emploie les mêmes tiges de suspension à tous diamètres (1). La section libre sera donc d'autant plus forte que le diamètre sera plus grand, et à débit égal de la pompe, la vitesse du courant, et la force d'entraînement, qui lui est proportionnelle, seront moindres. En thèse générale, on peut dire que toutes les critiques que nous avons formulées au sujet de l'emploi du courant d'eau, sont applicables à ce procédé.

Cependant l'imprécision des résultats est souvent plus grande encore, et telle qu'on doit considérer comme sans signification les échantillons recueillis. Cela résulte de l'abondance des rechutes provenant de la partie du trou non tubée et que provoque non seulement le flagellement des tiges, mais le frottement du courant d'eau chargé de boues. La hauteur de paroi découverte est en effet souvent très grande, car grâce à la facilité avec laquelle le courant d'eau enlève ces rechutes, on peut forer en une passe des

(1) A grand diamètre, certains sondeurs emploient des tiges plus fortes, mais la variation de section est négligeable.

épaisseurs de terrain considérables — atteignant exceptionnellement 200 mètres. — Les derniers échantillons représentent donc une moyenne des terrains sur toute cette hauteur, et dans la généralité des cas, ils sont évidemment sans valeur.

Aussi cherche-t-on souvent à faire suivre le tubage. On se sert à cet effet, soit du trépan excentrique de Fauck, soit plus généralement d'un élargisseur. L'emploi d'un élargisseur à quelque hauteur au dessus du trépan, a pour conséquence de provoquer un mélange des boues provenant de roches situées à un niveau un peu supérieur. Il en est de même, mais dans une proportion moindre du trépan excentrique.

Mais dans le cas d'assises puissantes, le seul, avons-nous vu où les échantillons boueux ramenés par le courant d'eau offrent quelque intérêt, cette complication ne fait qu'atténuer encore les transitions et n'offre donc pas d'inconvénients bien graves.

Au reste, les variations de la vitesse d'avancement peuvent servir à établir d'une façon un peu plus précise les limites d'assises. Il est à noter qu'en raison de la faible amplitude de la frappe, l'avancement de la sonde ne résulte à chaque instant que de la nature de la roche affleurant au fond du trou. La rencontre d'un lit mince bien différent pourra donc être remarquée.

La vitesse de cet avancement dépend de la dureté et de la compacité de la roche et aussi de la facilité avec laquelle ses farines se laissent enlever par le courant d'eau. Il en résulte que la rencontre d'un lit argileux intercalé au milieu de lits sableux, se traduit immédiatement par un ralentissement. Tenant note du point exact où se produit ces variations, on pourra établir une première coupe, qu'il sera possible de compléter quant à la nature des terrains par l'étude des échantillons. On conçoit cependant que

comme il ne peut être question que de variations bien nettes, ces observations, même faites avec grand soin, ne pourront ici encore être aussi complètes et aussi précises qu'on pourrait le désirer. Hormis des cas spéciaux, ce mode de recherche est donc toujours très grossier.

Aussi ne faut-il pas s'étonner qu'on ait cherché à l'améliorer. Les effets de ce perfectionnement sont, nous nous empresserons de le reconnaître, très réels, mais il entraîne une conséquence qui peut être dans certains cas des plus graves : il rend le procédé lent. Nous avons signalé ce perfectionnement en décrivant le trépan évidé (fig. 4).

La carotte qu'il ménage, est entraînée par le courant d'eau jusqu'au jour; comme ces carottes remontent par l'intérieur des tiges, elles sont évidemment d'un diamètre restreint; pratiquement une trentaine de millimètres. Elles n'en fournissent pas moins des renseignements sûrs et plus complets sur la nature des terrains, bien que la proportion de carottes soit de beaucoup inférieure à celle qu'on obtient avec les sondes à rodage. Mais le courant d'eau renversé entraîne vers la sonde les rechutes du trou, d'où danger toujours grand de calage du trépan, qu'on ne parvient à diminuer qu'en faisant suivre le tubage, opération qui complique les manœuvres et entraîne un ralentissement du forage.

A côté des procédés par percussion existe la classe non moins importante des sondes à rodage. Sans être d'application aussi restreinte que la tarière à courant d'eau renversé, les sondes à rodage ne peuvent cependant, comme les trépans, être utilisées dans tous les cas. Ces procédés s'appliquent exclusivement à la traversée des roches sinon cimentées, au moins compactes. Cette restriction faite, nous dirons qu'ils possèdent deux qualités remarquables et qui leur sont

propres : Ils fournissent sur la roche traversée des renseignements aussi complets que possible à l'aide des témoins qu'ils permettent d'extraire d'une façon continue ; et d'autre part, étant, à l'inverse des procédés à percussion, sans relation avec la pesanteur, ils permettent de forer des trous suivant l'orientation la plus favorable, c'est-à-dire suivant la normale à la stratification. On réalise dans ce cas le maximum de rapidité et d'économie, en même temps que l'on se place dans les conditions les plus favorables pour une reconnaissance très exacte des terrains (voy. fig. 15), ainsi que nous le verrons dans la suite. Toutefois, il faut l'avouer, on profite rarement de cet avantage. Les sondages horizontaux, pratiqués à l'aide d'appareils assez semblables aux perforatrices ordinaires, sont employés dans les mines métalliques pour le prolongement des bacnures. Une application aussi intéressante qu'exceptionnelle d'un sondage horizontal au front d'un bouveau de charbonnage a été faite récemment aux mines de Carvin (1).

En général, les trous de sonde sont verticaux. C'est notamment le cas de ceux que l'on exécute pour la reconnaissance de gisements profonds recouverts par des épaisseurs considérables de morts-terrains, que l'on traverse soit au trépan, soit à la tarière.

Tout comme pour les perforatrices, on peut, pour les sondes à rodage, distinguer deux classes d'instruments : Les uns, construits en acier très dur, sont des couronnes profilées en dents de scie qui travaillent par arrachement. Chargée fortement, la couronne tourne avec lenteur, creuse un sillon annulaire par l'enlèvement d'esquilles de roche, et détache ainsi une carotte correspondant à son diamètre intérieur. La pratique allemande et américaine

(1) Voyez *Bulletin de la Société de l'Industrie minière de Saint-Etienne*, 4^{me} sér., t. I, p. 665, 1902, 3^e livraison.

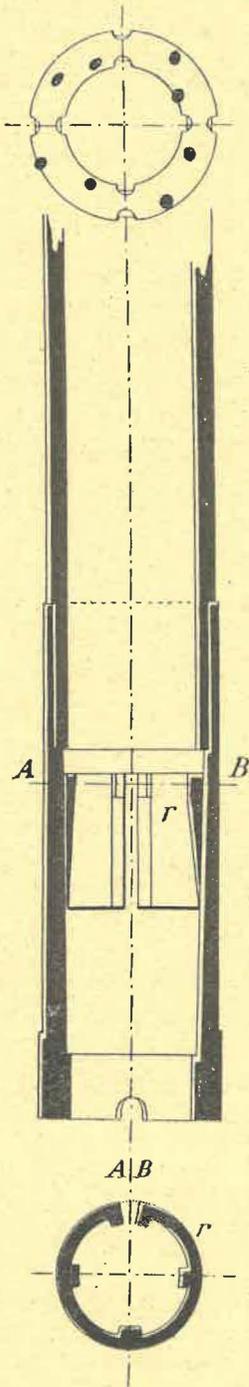


FIG. 8.

est raliée presque toute entière à l'emploi des appareils de la deuxième classe qui creusent leur sillon par usure de la roche, et dont le type est la couronne à diamants.

Bien que la description de cette sonde ait été souvent faite, nous la donnerons brièvement pour faciliter au lecteur la compréhension des développements ultérieurs.

L'appareil d'attaque (fig. 8) se compose de deux parties réunies par vis : la couronne et le carottier. La couronne est faite d'un tube de faible hauteur très exactement tourné. Elle porte, sertis sur sa face intérieure, les diamants au nombre de huit ou plus. Intérieurement sa partie supérieure est tronconique vers le bas.

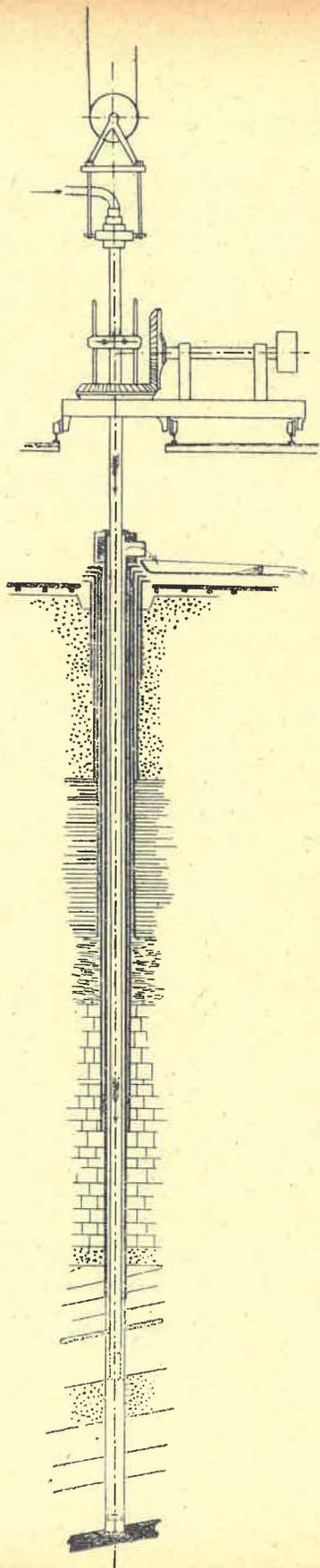
C'est dans cette partie que se loge le ressort *r* formé d'un anneau brisé, tourné extérieurement avec la même conicité que la couronne, et portant intérieurement quatre saillies. Lors de la remonte de la sonde, la traction vers le haut exercée sur elle par l'intermédiaire des tiges et du carottier a pour effet de provoquer le coincement du ressort, qui se referme et par ses saillies adhère aux carottes. Le coincement finit par être tel que la carotte saisie et entraînée par

le ressort, se détache de la roche mère. Elle obture ainsi la partie inférieure de la sonde et empêche la chute des carottes qui se trouvent au dessus d'elle dans le carottier.

On remarquera que la rupture de la carotte ne se produit pas nécessairement au fond du trou, et que de ce fait un témoin est perdu. Ce tronçon pourra être d'autant plus fort que le ressort saisira la carotte à une plus grande hauteur au dessus du fond. C'est pourquoi on limite sa course par le rebord intérieur du carottier. Il se peut aussi que dans cette position, le ressort n'adhère pas suffisamment à la carotte, et glisse sur une certaine hauteur avant de se fixer et de provoquer l'arrachement. Enfin dans certaines roches tendres, argileuses, les saillies du ressort creusent souvent un sillon dans le témoin avant de s'y fixer définitivement. Il y a donc intérêt à ne remonter la sonde qu'après la traversée d'une passe assez grande, afin de réduire l'importance relative qui résulte de cette perte du dernier témoin. Le carottier, qui est d'un diamètre légèrement inférieur à celui de la sonde, a souvent 10 mètres de hauteur. Mais il est rare que l'on puisse forer en une fois cette longueur de 10 mètres. On lui donne cette dimension parce qu'il sert de guide à la sonde et assure la rectilignité du trou.

La partie la plus considérable de l'outillage, les tiges, est la même que dans les procédés précédents. Elles sont raccordées au carottier d'une part, et terminées d'autre part par le touret, qui leur sert en même temps de suspension au câble du treuil. La figure 9 rappelle schématiquement la disposition générale.

La sonde possède deux mouvements bien distincts : le mouvement de rotation et celui d'avancement. L'appareil de transmission de la rotation consiste en une paire de roues d'angle. La roue horizontale évidée est traversée en son centre par le prolongement des tiges et y est reliée par



l'intermédiaire d'une liaison leur permettant un déplacement vertical indépendant : coulisseau, tige carrée, etc. La commande de l'appareil de rotation se fait toujours mécaniquement, si ce n'est dans le cas de modèles très réduits. La vitesse de rotation varie de 100 à 125 tours par minute.

Les dispositifs employés pour l'avancement de la sonde nous intéressent d'ailleurs davantage en raison de l'importance que possède la vitesse de forage pour la reconnaissance de la roche forée. Ici encore, il existe deux classes de types bien nets : la classe des appareils à avancement variable, et celle des appareils à avancement régulier, avancement qu'on peut d'ailleurs suivant les besoins, faire varier entre certaines limites ⁽¹⁾. Vu l'emploi de plus en plus restreint de ceux-ci, nous n'examinerons que les types de la première classe. Dans tous, la sonde descend par

(1) Voyez *Revue Universelle des Mines, etc.*, 5^e série, t. LIII, 2^e numéro, février 1901, pp. 143 et suiv.

son propre poids. Cependant comme il est désirable que la couronne soit peu chargée, afin d'assurer sa bonne conservation, on équilibre presque complètement le poids des tiges par un contrepoids désigné par c dans tous nos croquis (fig. 10, 11, 12 et 13).

Les divers appareils employés peuvent être ramenés à quelques types que nous classerons comme suit :

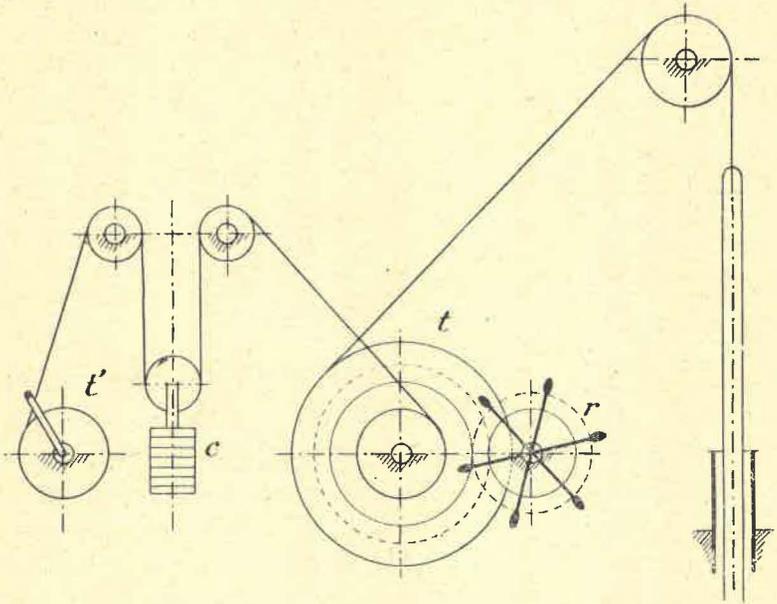


FIG. 10.

1° *Procédé à commande à la main à liaison rigide.* (fig. 10). — Le câble de suspension des tiges est enroulé sur un treuil t , qui bobine également le câble du contrepoids. La commande du treuil est faite à la main par un gouvernail r relié au tambour par l'intermédiaire d'engrenages. La réserve de corde du treuil t est suffisante pour permettre la descente complète d'une ou de plusieurs tiges. Un treuil

accessoire t' permet de restituer au contrepoids la longueur de corde bobinée.

2° *Procédé à commande à la main à liaison lâche* (fig. 11). — Même disposition que la précédente, sauf que le gouvernail est relié au treuil par une chaîne de Galle dont un brin est toujours lâche.

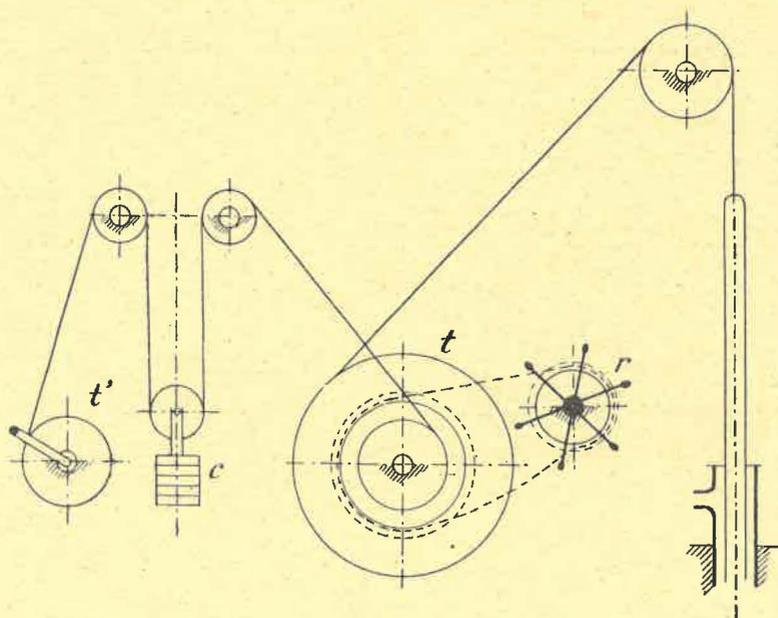


FIG. 11.

3° *Procédé Lapp* (fig. 12). — Le contrepoids est fixé sur l'arbre du treuil, à l'extrémité d'un long levier l . Le câble se déroule librement; mais on conçoit que si l'on veut conserver au contrepoids une action constante, il faut limiter sa course de manière à réduire la variation du bras de levier. C'est la raison d'être du buttoir b^1 . Dans ces conditions, le levier ayant butté contre le taquet, il faut pour

permettre la descente de la sonde, ramener le contrepoids vers le bas en faisant tourner le levier sur l'arbre du treuil *a*. C'est ce que réalise le brevet Lapp. Les deux joues *f* du levier sont folles sur l'arbre du treuil. La liaison du levier à l'arbre est assurée par une vis sans fin *v* engrenant avec une roue hélicoïdale *h* calée sur l'arbre. Le

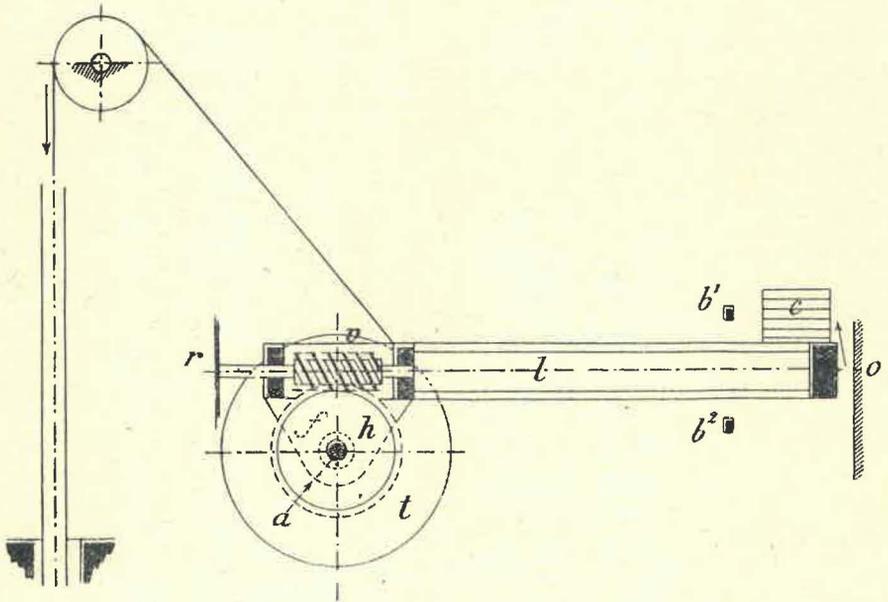


FIG. 12

contrepoids ayant butté contre *b'*, il suffit pour le ramener vers le bas de faire mouvoir à l'aide du gouvernail *r* la vis sans fin. Un taquet *b''* limite la course arrière. Normalement, on maintient le contrepoids en face d'un repère fixe *o*, en compensant constamment l'avancement.

4° *Procédé à descente libre* (fig. 13). — Le câble de suspension de la sonde est attaché à l'extrémité d'un balancier portant à l'autre extrémité de l'autre bras le contre-poids *c*. Un curseur *i*, amplifiant — 2.5 fois dans l'application que j'en ai vue — le mouvement de la sonde, permet de

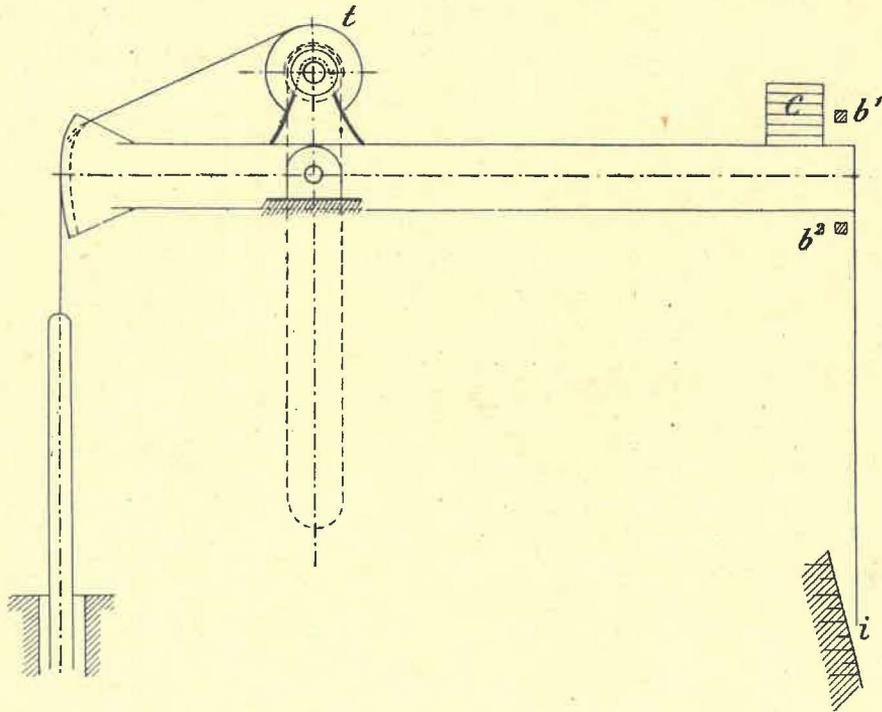


FIG. 13.

juger des progrès du forage. La sonde possède une course de 10 centimètres, après quoi le balancier vient butter contre un arrêt, tout comme dans le cas précédent. On ramène le balancier à sa position normale en allongeant le câble de suspension enroulé sur le treuil *t*, que le sondeur com-

mande du plancher de travail par l'intermédiaire d'une chaîne. Ainsi qu'on le voit, la descente de la sonde est — dans ce cas comme dans le précédent — absolument libre.

Il nous reste à comparer ces divers systèmes au point de vue de leur sensibilité. Une des principales qualités des sondes à rodage est d'être à avancement continu; cette qualité s'accroît encore quand l'avancement par tour est très faible, ce qui est le cas des sondes à diamants. Toute variation dans la nature de la roche entraînant une variation de la rapidité de forage, sera en effet beaucoup plus aisément perçue ici que dans le cas où les tiges oscillent comme dans les procédés à percussion, et elle le sera à l'instant exact où la sonde pénètre dans le nouveau lit, si l'axe du sondage est normal à la stratification. La mesure de l'épaisseur des strates pourra donc être faite très exactement.

Il est évident *à priori* que le degré d'exactitude dépend du type d'appareil employé pour la descente. Le changement de vitesse d'avancement est difficilement perçu par l'observation des tiges. On ne peut d'ailleurs réclamer du sondeur une attention aussi soutenue. Aussi, amplifie-t-on généralement le mouvement de descente. C'est ainsi que l'extrémité du levier du contrepoids de Lapp se meut quatre ou cinq fois aussi rapidement que la sonde. Certains sondeurs augmentent encore cette multiplication par l'intermédiaire d'engrenages posés entre la roue hélicoïdale et le treuil. Mais cette disposition a pour conséquence de provoquer des résistances accidentelles, qui masquent plus ou moins le mouvement propre de la couronne. Ce reproche s'adresse évidemment à l'emploi d'engrenages en général. Les déformations si fréquentes des chaînes de Galle nous conduisent à préférer sous ce rapport, la liaison rigide à la liaison lâche.

Les types à commande à la main possèdent une qualité

que certains apprécient beaucoup ; c'est celle de donner au sondeur une perception nette de la marche de l'opération. La raison en est bien évidente : il a la sonde en-main. Mais il est certain d'autre part, que les deux autres procédés laissent la sonde descendre librement et sous charge constante, tandis que dans les procédés à la main la descente peut être jusqu'à un certain point contrariée.

Nous reviendrons d'ailleurs sur cette question, à propos de la constatation des couches de houille, où le travail de forage affecte une allure un peu spéciale, et nous nous bornerons à signaler encore une différence très importante qui existe entre ces divers types d'appareils : nous voulons parler de l'influence qu'exerce la longueur de la course. Cette longueur, dans les procédés à commande à la main, atteint et souvent dépasse 25 à 30 centimètres. Dans le procédé Lapp et le procédé à descente libre, elle dépend de la distance entre les taquets, soit pratiquement 20 centimètres pour celui-ci et 1 à 2 centimètres pour celui-là. Si le sondeur, durant un moment d'inattention ou de somnolence, vient à abandonner la sonde à elle-même, elle avancera jusqu'à ce qu'elle soit arrivée au bout de sa course. Si la vitesse d'avancement est faible, il n'en résultera de ce fait aucun inconvénient. Ce qui importe en effet, c'est que les observations sur la vitesse d'avancement soient faites de 5 en 5 centimètres, par exemple. Or, si l'absence du sondeur n'est que de quelques minutes, le temps n'aura pas été suffisant pour forer une longueur supérieure à 5 centimètres. Mais, si au contraire la sonde vient à rencontrer une couche tendre, comme la houille, elle pourra y descendre en quelques instants d'une quantité très importante et qu'il sera presque toujours impossible d'évaluer par la suite. Plus la course de la sonde sera faible, moins graves pourront être les conséquences d'un moment d'inattention ou de somnolence du sondeur.

Examinons à présent comment se fait la reconnaissance des terrains, et voyons d'abord les relations qui existent entre la vitesse d'avancement et la nature de la roche. L'avancement de la couronne dépend de la dureté de la roche et aussi de sa nature. Il faut en effet que la farine que donne l'usure soit rapidement enlevée par le courant d'eau, et ne forme pas une pâte qui recouvre le fond du trou. C'est pour cette raison que certains schistes, qui donnent par broyage une argile grasse et collante, ne sont pas traversés plus rapidement que des grès durs. Le maximum de rapidité est atteint dans la traversée des roches tendres et se broyant à sec, comme la houille. La vitesse est aussi très grande dans la traversée de certains grès friables et des schistes psammitiques. Il est toutefois difficile en raison des variations incessantes de composition des roches et de l'influence mal définie de certains facteurs étrangers, de donner sous forme de tableau la relation existant entre la nature de la roche et la vitesse de forage. Le sondeur se borne généralement à observer le temps nécessaire à la traversée de passes de 10 centimètres qu'il trace à la craie sur la tige, mais ne tient pas note de ces observations chronométriques et se contente de consigner les profondeurs auxquelles se produisent des changements d'allure remarquables.

Nous verrons dans la suite, au sujet de la constatation des couches de houille, le parti que l'on peut tirer de l'observation détaillée des variations de la vitesse d'avancement.

Car si ces observations peuvent être d'un grand intérêt pour l'établissement des limites d'assises, c'est surtout à l'aide de carottes qu'on établit la coupe des terrains traversés. Cette méthode est des plus correctes. Voyons néanmoins si elle possède une exactitude aussi absolue qu'on pourrait être tenté de le croire à première vue.

Nous avons déjà eu l'occasion de signaler une cause de perte de témoins. Il en est d'autres.

On peut en thèse générale dire que le rapport de la longueur des carottes à la longueur totale forée dépend du diamètre de la carotte, de la cohérence, de la dureté et de la compacité de la roche, de l'homogénéité et de la régularité des terrains.

Examinons successivement comment la carotte se forme et se conserve dans le carottier.

Dès que la couronne pénètre quelque peu dans le terrain, elle isole par creusement de son sillon annulaire un témoin encore fixé par sa base à la roche mère, mais tendant à s'en séparer. Le témoin est en effet sollicité par le frottement de la couronne à la suivre dans son mouvement. Ce frottement est égal à

$$\pi dhf$$

si d est le diamètre de la carotte

h sa hauteur

f le frottement par unité de surface.

La force de cohérence qui le retient à la roche mère est égale à

$$\frac{\pi d^2}{4} c,$$

c étant la force par unité de surface.

Tant que $\frac{\pi d^2}{4} c \geq \pi dhf$

le témoin reste attaché; mais aussitôt que la hauteur découverte atteindra la valeur

$$h > \frac{dc}{4f}$$

le témoin se détachera à la base.

Cette formule n'est pas d'une rigueur mathématique; car le diamètre de la carotte est légèrement inférieur au diamètre intérieur de la couronne et du carottier. Les sollicitations sont donc plus complexes que nous ne le supposons. Mais elle permet de saisir l'influence du diamètre et de la cohérence, et elle donne l'explication du fait qu'à un diamètre inférieur à 40-35 millimètres, le pourcentage de carottes diminue très rapidement (il tombe de 90-80 p. c. à 10 p. c. et moins, en terrain houiller); la hauteur maximum h est alors tellement faible, qu'elle est pratiquement nulle pour la moyenne des roches.

Détachée de la roche-mère, la carotte va s'élever dans le tube carottier sous la poussée des nouvelles carottes. Sollicitée à rester plus ou moins immobile, par son frottement de base, sollicitée d'autre part à suivre la sonde dans son mouvement de rotation, ballotant dans un tube de diamètre légèrement supérieur, la carotte ne pourra résister et s'usera d'autant plus rapidement que sa dureté sera moindre. C'est ainsi que les carottes acquièrent une forme légèrement conique. Cette usure sera d'autant plus forte que la durée du travail sera plus long. A ce point de vue, il y a donc avantage à réduire la longueur des passes. Le frottement entre carottes a pour effet de provoquer la disparition des parties tendres. C'est la raison de la diminution du pourcentage de carottes dans le cas de variations nombreuses, profondes et rapides dans la nature des terrains. Cette usure réciproque est aussi d'autant plus importante que le nombre de tronçons est plus grand, donc pour une même hauteur forée, que la hauteur de chacun d'eux est moindre. C'est ainsi que se trahit encore l'influence du diamètre. Enfin le courant d'eau peut abîmer très fortement le tronçon de tête.

La régularité des terrains, qui entraîne comme conséquence le peu de développement des diaclases, joue également un rôle très important.

En résumé, dans les roches compactes et bien régulières, on obtient une forte proportion de témoins, alors que les échantillons de roches tendres et possédant de nombreux plans de division comme la houille, ne sont qu'exceptionnels et toujours partiels.

Le rôle le plus important paraît appartenir généralement au diamètre. Lorsqu'il devient trop faible, on n'obtient plus de témoins que dans des roches exceptionnellement compactes et dures; il faut, pour le reste, prélever des échantillons de boues qui seront plus ou moins complets, et plus ou moins souillés par les rechutes.

Les sondes à rodage ne possèdent plus alors d'avantage autre que celui de permettre la continuation du travail, alors que le trépan serait inapplicable.

Nous croyons devoir faire remarquer encore l'importance qu'il y a à indiquer au journal de sondage, en regard de la longueur forée, celle des carottes recueillies en y distinguant, si possible, celle des différentes roches. Cette indication figurera également sur les coupes détaillées, afin de donner à ceux qui auront à s'en servir, une idée exacte de l'approximation des recherches.

La reconnaissance de la puissance et de la nature des formations doit, dans le cas de terrains stratifiés, être complétée par la détermination de leur allure.

Une mesure directe de la direction et de l'inclinaison des couches n'est cependant possible que dans des roches compactes, nettement stratifiées et quelque peu inclinées.

Dans tous les autres cas, il faudra avoir recours à la méthode géométrique ⁽¹⁾ et utiliser un réseau de sondages

(1) La méthode, dans sa forme la plus simple, consiste, comme on le sait, à déterminer par une épure la trace horizontale (direction) et l'angle de pente (inclinaison) d'une couche, dont on connaît le passage dans trois sondages non en ligne droite repérés sur un plan.

suffisamment rapprochés. Cette méthode exige l'établissement préalable de la synonymie des couches ou tout au moins d'une échelle stratigraphique des terrains recoupés par les sondages voisins. Elle implique aussi l'hypothèse que le gisement est suffisamment régulier pour qu'on puisse sans grande erreur considérer l'allure des couches comme géométriquement plane, dans la région examinée. Elle suppose enfin que les déviations des sondages sont peu importantes (1).

Dans le cas de couches assez redressées ou d'allure variable, la mesure directe est donc seule possible. Dans les autres cas, pour autant qu'elle soit praticable, elle permet soit de contrôler les résultats de la méthode géométrique, soit d'éviter l'application souvent coûteuse de cette méthode. Elle est toujours, en raison de sa rapidité et de son faible coût, d'une incontestable utilité pour la bonne direction des recherches subséquentes.

La mesure directe de l'inclinaison et de la direction des strates se fait sur des carottes prélevées, soit à la sonde à rodage, couronne d'acier ou à diamants, soit à l'aide d'un trépan creux. Il est donc nécessaire que le sondage ait un diamètre suffisant pour que l'on puisse espérer la production de bonnes carottes. D'ailleurs, à petit diamètre, les erreurs matérielles de mesure acquièrent une importance relative trop considérable.

L'inclinaison se détermine aisément si la roche est bien stratifiée. Il ne faut en effet pas espérer que les joints des bancs se conserveront, au moins dans les procédés par rodage où les bouts des carottes s'usent par frottement. D'ailleurs ces joints ne possèdent pas toujours, dans les gisements profonds, la netteté qu'on est porté à leur attribuer. On choisira de préférence une roche à grain fin : un schiste bien stratifié ou encore légèrement psammitique, et dans la formation houillère, un toit préférablement à la

(1) Voyez note additionnelle I, p. 1016.

Pierre de stampe. On s'assurera au préalable que la carotte est bien cylindrique en mesurant son diamètre aux extrémités. Puis on la brisera suivant la stratification. La mesure de l'angle se fait très aisément en se servant d'un mètre pliant comme goniomètre d'application. Le report de l'angle des deux lattes sur une feuille de papier permet de déterminer très exactement la valeur de la pente. On répètera la mesure un certain nombre de fois sur une série d'échantillons choisis, de manière à établir une moyenne.

Si la détermination de l'inclinaison des strates peut être faite d'une manière aussi rapide et aussi simple, la détermination de leur direction est au contraire une opération toujours compliquée et délicate.

Nous ne partageons cependant pas l'opinion de certains ingénieurs qui pensent qu'il n'existe pas de méthode absolument sûre (toute mesure est évidemment sujette à erreur), et estiment que les chefs sondeurs peuvent arriver, par l'observation continue de la sonde à diamants, à apprécier tant bien que mal la direction des strates. Comment pourrait-il en être ainsi, alors qu'une expérience sommaire prouve que, sans précautions spéciales, la sonde est soumise à des mouvements de rotation parfois très importants à chaque manœuvre de tiges; or, dans le cas de recherches profondes, comme celle du houiller en Campine, ces manœuvres se répètent trente, quarante, cinquante fois, avant que la couronne atteigne le jour..... Est-il possible dans ces conditions d'apprécier même *tant bien que mal* la direction des strates?

La technique moderne ne possède pas de procédé basé sur des principes nouveaux quant aux modes opératoires. Certains sondeurs affirment cependant que les carottes prises par percussion à l'aide du trépan creux, à dents parallèles et entraînées par le courant d'eau renversé, conservent leur orientation durant la remonte. S'il en était ainsi, la solution

du problème serait très avancée. Nous ne pouvons cependant admettre l'exactitude de cette affirmation. Car il est évident que pour que la remonte de la carotte par l'intérieur des tiges soit possible, son diamètre doit être légèrement inférieur à celui des tiges, et qu'il doit en résulter des ballottements. Mais il y a plus; tout travail au trépan exige un mouvement lent et continu de rotation, mais qui pratiquement, est toujours irrégulier; d'autre part, la carotte se détache à un moment inconnu *a priori*, et enfin entre cet instant et celui où elle arrive au jour, il s'écoule un laps de temps plus ou moins considérable et variable d'ailleurs avec la dimension du témoin. Il en résulte que si même la carotte était exactement guidée par la tige elle aurait tourné avec celle-ci, durant la remonte d'un angle qu'il serait impossible d'évaluer avec quelque précision (1).

Aussi considérons-nous comme étant au moins très hasardée l'affirmation que les carottes en *travail courant* arrivent au jour orientées. Notons, enfin, qu'il est extrêmement délicat — pour ne pas dire plus — de saisir la carotte en lui conservant son orientation, à l'instant où elle sort de la tige.

Les procédés classiques se réduisent à deux types que nous examinerons avec quelques détails.

La première solution, qui plaît surtout par son élégance, nécessite malheureusement l'emploi d'un appareil coûteux et très délicat.

Cet ingénieux appareil fut inventé par M. P. Arnault et employé par lui avec succès au sondage de Boubals (Hérault), à 216 mètres de profondeur.

Voici la description qu'en donnait M. le professeur

(1) Toutefois, vu la grande vitesse du courant d'eau et la lenteur du mouvement de rotation, les filets liquides ne subissent qu'une faible déviation du fait de ce second mouvement. Si la carotte est complètement et constamment entourée d'une gaine liquide, elle sera donc plus ou moins indépendante de la tige.

A. Habets, dans son mémoire sur le matériel des mines à l'exposition de 1889 (1).

« On descend dans le sondage une boîte cylindrique en bronze phosphoreux contenant une boussole montée sur un réveil à mouvement d'horlogerie. Ce réveil est destiné à fixer l'aiguille de la boussole après un temps déterminé. La boîte très résistante peut supporter une pression de 50 à 60 atmosphères. Sa surface intérieure est constituée par un tampon en caoutchouc à encre grasse. Le témoin étant préalablement découpé au fond du trou de manière à imprimer la marque du tampon sur la tête du témoin, le réveil, remonté de manière à ne partir qu'un certain temps après que le tampon a ainsi marqué le témoin, fonctionne lorsque l'aiguille de la boussole est bien au repos. On remonte ensuite le tout à la surface et l'on enlève le témoin par les procédés ordinaires. En faisant coïncider l'empreinte avec les marques du tampon, l'aiguille arrêtée oriente ces marques et par conséquent le témoin sur le nord magnétique. »

Comme on le voit, c'est dans le battage au trépan que M. Arnault employait cet appareil. La carotte est d'abord isolée à l'aide du trépan creux (sans courant d'eau); et c'est sur l'arrache-témoin que se place le dispositif d'orientation.

Sous cette forme primitive, l'appareil a donné des résultats satisfaisants. Certains sondeurs ont cru pouvoir en le modifiant légèrement, le monter sur le tube carottier d'une sonde à diamants (2). Nous pensons que c'est là une erreur. Car, ainsi disposé, l'appareil ne fournit qu'exceptionnellement de bons résultats. En effet, avec la sonde à diamants, la hauteur des carottes dans les terrains bien stratifiés

(1) *Revue Universelle des Mines*, 3^{me} série, t. XII, 1890, 4^{me} trimestre, p. 30.

(2) Ces appareils sont dénommés stratamètres. Pour détails, voyez *Organ des Verein der Bohrtechniker* » 1903, nos 4 et 5.

— les seuls où l'opération est possible — est souvent peu forte. La carotte forée se mouille et ce n'est que le dernier tronçon engagé dans l'anneau qui conserve la position naturelle. Il en résulte une petite complication du dispositif, qui a pour conséquence d'exiger un repérage. Mais il arrive souvent que le dernier tronçon retombe dans le trou, et l'opération est ratée. Il est d'ailleurs nécessaire de forer une certaine hauteur avec la sonde ainsi préparée : d'où trépidations qui peuvent endommager la boussole ou le réveil; d'où encore séjour prolongé qui a pour conséquence d'amener une submersion complète du mouvement d'horlogerie si l'étanchéité de la boîte n'est pas parfaite. Tous ces accidents sont survenus aux cours d'essais faits en Campine. Aucune tentative n'a, à notre connaissance, donné de résultats satisfaisants alors qu'en Allemagne de nombreux essais auraient réussi. Aussi croyons-nous pouvoir dire que l'appareil ainsi conçu travaille très irrégulièrement.

Le second procédé n'exige pas l'emploi d'appareils spéciaux, c'est son avantage. Il est le seul possible dans le cas de terrains magnétiques. Mais il comporte une manœuvre longue et délicate. Convenablement appliqué, il doit conduire, ce nous semble, à des résultats concluants.

Il consiste à prélever une carotte sur la tête de laquelle on a préalablement indiqué l'orientation à l'aide d'un coup de trépan.

La sonde s'étant arrêtée dans un schiste compact et bien stratifié, on commence par fraiser le fond du trou de manière à ce qu'il soit bien perpendiculaire à l'axe du sondage. On évite ainsi qu'une rugosité quelconque ne fasse dévier le trépan. On détruit en même temps tous les débris de carotte qui pourraient se trouver dans le trou et produiraient le même effet qu'une inégalité du fond. Cela fait, on descend un trépan dont la lame aura été différenciée à l'une

de ses extrémités, de manière à préciser le sens de la ligne d'orientation. La lame du trépan est placée suivant une ligne d'orientation connue; la descente et la frappe s'effectuent de manière à empêcher toute rotation des tiges et à conserver ainsi à la lame l'orientation lui donnée. C'est dans la descente surtout que, pour les sondages profonds, réside toute la difficulté de l'opération. Car la manœuvre se répétant trente, quarante, cinquante fois, l'accumulation des erreurs peut fausser le résultat dans des proportions considérables.

On peut d'ailleurs répéter l'opération à la remonte et s'assurer que le trépan sort avec l'orientation qu'on lui avait primitivement donnée. Le découpage de la carotte n'exige aucune précaution spéciale. On a peu de chances, puisqu'il s'agit du tronçon de tête, de perdre le témoin. La détermination de la direction se fait alors très simplement.

Ce procédé nous semble devoir conduire à des résultats concluants. Nous l'avons vu appliquer, mais les soins apportés à la descente des tiges, étaient si rudimentaires que nous n'avons nullement été étonné de voir les études stratigraphiques détaillées conduire à un résultat nettement différent de celui obtenu par la mesure directe.

On doit à Koëbrich une méthode mixte, qui nous paraît supérieure aux deux précédentes. Un trépan portant dans sa tige lourde (en bronze) la boussole de M. Arnault est descendu jusqu'au fond. Après curage du trou, on laisse tout au repos jusqu'après certitude de déclanchement du réveil. On donne alors le coup de trépan en guidant soigneusement les tiges. (L'effet du choc sur la boussole peut être annihilé par l'emploi d'une suspension par ressorts.) Si la ligne de foi de la boussole était disposée parallèlement à la lame du trépan, l'orientation de la carotte, découpée ensuite à la couronne, se fait bien simplement, puisqu'on connaît la déviation de l'aiguille.

Pour éviter que le courant d'eau n'altère la tête de la carotte et n'en fasse disparaître la marque, on pourrait se servir, comme pour la prise de carottes dans les roches très tendres, d'une coiffe placée dans l'intérieur du tube carottier, et qui protège le témoin jusqu'à une faible distance au dessus de la couronne.

C'est une opinion assez courante et assez accréditée parmi les ingénieurs et les géologues que les procédés de sondage à courant d'eau ne conviennent pas pour la reconnaissance des roches fluides, qu'il s'agisse de l'exploration de gisements pétrolifères ou de la recherche de nappes d'eau.

En ce qui concerne le pétrole, on sait que depuis quelques années, les procédés de sondage modernes ont été employés avec un succès constant tant en Roumanie que dans divers autres pays (1).

Quant aux nappes aquifères, la question est évidemment plus délicate. En effet, l'objet de la recherche n'est pas de nature essentiellement différente, comme dans le cas du pétrole, de la matière dont on remplit constamment le trou. Il faut pour que la recoupe d'une nappe aquifère soit manifeste, qu'il en résulte une variation de débit dans le courant d'eau. Un examen un peu plus approfondi est cependant nécessaire pour juger pleinement de l'importance de la difficulté. Il l'est d'autant plus à cette heure qu'il permet d'interpréter d'une façon simple certains phénomènes observés dans des sondages exécutés récemment en Campine.

Supposons que la sonde de diamètre d ait rencontré à h mètres au dessous du niveau du déversoir du tubage, une couche perméable puissante de E mètres, et de perméabi-

(1) Il faut observer avec grande attention le courant d'eau, et, dès qu'on y aperçoit une goutte d'huile, arrêter le forage et pomper le trou.

lité μ , et y ait pénétré de e mètres. Soit H mètres (valeur positive, nulle ou négative) la hauteur du niveau de la nappe aquifère contenue dans cette couche perméable, au dessus du toit de cette couche (fig. 14).

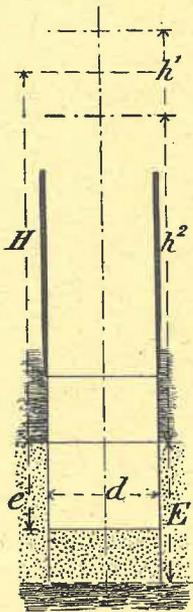


FIG. 14.

Supposons d'abord le trou tubé jusque dans la couche imperméable qui forme le toit de la couche E, le tubage étant parfaitement étanche tant à sa base que sur toute sa hauteur.

Dans ces conditions, toute différence entre le volume d'eau injecté par la pompe dans le trou et celui du courant de retour — ou le volume d'eau foulé demeurant constant, toute variation dans le débit du courant de retour — sera imputable à l'influence de la nappe aquifère de la couche E.

Le débit de celle-ci (au sens le plus large du mot, qu'il soit positif ou négatif) sera à chaque instant égal à :

$$\mu \cdot \pi d e \sqrt{H \cdot h} \quad (1)$$

si on néglige l'influence du fond du trou.

Trois cas peuvent se présenter :

1° $H = h$

La nappe aquifère abandonnée à elle-même s'éleverait exactement jusqu'au niveau du sol. Son influence est nulle. On n'observera aucune variation dans le débit du courant d'eau;

2° $H > h = h^2$

Le trou possède un débit propre, qui s'ajoute au volume d'eau foulé par la pompe. Toutefois cet accroissement de

débit du courant de retour n'est sensible que pour autant qu'il ait une certaine importance.

Car l'allure de la pompe est assez variable, et il faut en tous cas remarquer que l'attention du sondeur n'est pas toujours aussi soutenue qu'on pourrait le désirer. Si le produit $\mu (H-h)$ est fort, l'influence de la nappe se manifestera dès le début de la recoupe, et parfois par la projection d'une colonne d'eau. Il faudra au contraire pénétrer d'une quantité assez grande, si le produit $\mu (H-h)$ est assez faible. En tous cas, durant les arrêts de la pompe, le courant d'eau continuera à s'échapper du trou, et son débit sera évidemment égal à celui de la couche recoupée;

3°

$$H < h = h'$$

La couche perméable est absorbante. Le volume du courant d'eau de retour est inférieur au volume injecté. Une fois encore, cette influence ne sera perceptible que si elle est suffisamment importante. Elle pourra devenir telle qu'elle soit supérieure au débit de la pompe. Le trou sera alors complètement absorbant. On a fait un certain bruit autour de phénomènes de ce genre. Certains ont cru pouvoir conclure immédiatement du fait que le trou absorbait toute l'eau foulée par la pompe, que la couche perméable rencontrée était sèche (1), ce qui revient à supposer H nul ou mieux négatif. Il est évident qu'il suffit que H soit plus petit que h , pour que le débit devienne négatif, et que le produit (1) soit suffisamment fort pour qu'il surpasse celui de la pompe. A l'inverse du cas précédent, on observera rien durant les arrêts. La nappe reprendra son niveau.

Les procédés à courant d'eau ne donnent donc aucune indication directe à la rencontre des nappes aquifères quand le niveau piézométrique de la nappe coïncide sensi-

(1) Voyez *Annales des Mines de Belgique*, t. VIII, p. 122.

blement avec la surface du sol, ou encore lui est inférieur. Les chances d'erreur sont d'autant plus grandes que la perméabilité de la nappe est plus faible et que l'épaisseur de la couche perméable est plus réduite. On remarquera enfin qu'il y a avantage pour accentuer l'effet du débit propre du trou et augmenter par là même la sensibilité du procédé, à travailler à grand diamètre.

Dans les cas où la méthode ne fournit aucune indication directe, on pourra jusqu'à un certain point parer à cette insuffisance par la connaissance des terrains. Si après avoir traversé une couche imperméable, la sonde vient à pénétrer dans une couche qui peut être perméable, sans qu'il se manifeste aucun phénomène, on arrêtera le travail et on cherchera à épuiser le trou.

En tous cas, dès qu'une nappe aquifère aura été reconnue, on déterminera la nature de cette eau et sa température, ainsi que le niveau piézométrique de la nappe. On aura soin d'éliminer préalablement l'eau de curage. Ce point est important même pour la détermination du niveau, surtout dans le cas de nappes profondes, qui sont toutes plus ou moins salées.

Le cas que nous venons d'étudier est le plus fréquent. Mais il arrive que le tubage soit descendu au fur et à mesure de l'avancement. L'étanchéité de la base est alors moindre, et l'isolement de la nappe nouvelle des nappes supérieures n'est plus aussi parfait. Abstraction faite de ce point, notre raisonnement subsiste cependant. Mais ici l'épaisseur e a pour maximum soit l'épaisseur E de la couche, soit la hauteur maxima non tubée si celle-ci est inférieure à E .

Le lecteur voudra bien observer que nous avons formellement supposé au début de ces développements, que le tubage avait été descendu jusque dans le toit imperméable de la couche aquifère. Il est évident qu'il n'en est pas tou-

jours ainsi en pratique. Ce peut être notamment le cas des sondages où l'on fait en une passe des approfondissements considérables.

Ce serait, croyons-nous, faire œuvre vaine, que d'examiner le cas où plusieurs couches perméables viendraient à exercer simultanément leur influence sur le trou : car le résultat de leurs actions combinées dépend de trop nombreuses circonstances.

Au reste, les procédés de sondage à sec ne possèdent pas en l'occurrence d'avantages sur les procédés à courant d'eau.

Il est en tous cas recommandable lorsque l'étude des nappes aquifères constitue le but principal de la recherche, d'isoler autant que possible les couches perméables au fur et à mesure de leur recoupe.

Nous avons examiné dans les paragraphes précédents, le mode de reconnaissance des terrains par les divers procédés de sondage. En pratique, l'exécution du trou comporte souvent l'emploi de plusieurs procédés, et partant des variations considérables dans le degré d'approximation de la recherche. Le trou voit d'ailleurs son diamètre diminuer avec la profondeur, par suite de la pose de tubages, aussitôt que le soutènement de ses parois devient précaire (fig. 8). Au delà d'un diamètre minimum d'environ 70 millimètres pour le trépan, et 50 à 40 millimètres pour les sondes à rodage, toute recherche devient impossible. Il est cependant avantageux de se fixer une limite plus élevée surtout pour les sondes à rodage, en raison de l'influence qu'exerce le diamètre sur la formation des carottes. Connaissant la profondeur approximative de la recherche et la longueur probable des passes, on établit facilement le diamètre d'attaque. On a évidemment intérêt à réduire ce

diamètre le plus possible, afin de diminuer les frais d'attaque. C'est en cela surtout que réside la supériorité des procédés rapides qui permettent de forer dans un temps insuffisant pour que la poussée des parois se fasse sentir, des épaisseurs de terrains très considérables. Il en résulte une diminution du nombre des passes, et à égalité de diamètre final, une réduction du diamètre initial, ou encore à égalité du diamètre initial, une élasticité beaucoup plus grande dans le travail. La perte d'un numéro de tubage par suite d'accident a des conséquences beaucoup moins graves sur l'avenir du trou.

On peut d'ailleurs affirmer que dans l'état actuel de cette technique, une reconnaissance *approfondie* de 200-300 mètres de terrains durs, recouverts par un manteau de terrains stériles tendres ou ébouleux de 500-600 mètres d'épaisseur, est presque toujours incompatible avec une reconnaissance *complète* de ces terrains de recouvrement. Il faut, en effet, arriver au terrain fertile avec un diamètre suffisant pour pouvoir y poursuivre les recherches dans de bonnes conditions. Or, si l'on calcule sur cette base le diamètre initial à donner au sondage, on arrive à des dimensions absolument exagérées. Il nous semble préférable de chercher, dans ce cas, à atteindre rapidement la formation profonde pour y poursuivre la recherche lentement et à grand diamètre, et de consacrer un sondage spécial à l'étude des morts-terrains.

Rappelons, enfin, que l'exécution d'un sondage de recherche ne constitue pas uniquement le forage d'un trou, qu'il faut donc apporter une grande attention à la prise des échantillons et chercher par le soin de l'exécution à conserver au procédé toute sa valeur démonstrative.

Intéressés uniquement à la rapidité d'avancement, les sondeurs ne sont que trop portés à réduire les observations à la portion congrue. Enfin, ils ne possèdent souvent que

des connaissances pétrographiques très sommaires, et déterminent au mieux les roches traversées. Aussi est-il de toute nécessité de rectifier et de compléter par une étude détaillée des roches et éventuellement des fossiles, la coupe du journal du sondeur.

DEUXIÈME PARTIE

**Reconnaissance des gisements houillers. —
Constatacion des couches de houille.**

Après avoir examiné à un point de vue général comment progresse la reconnaissance des terrains dans les divers procédés de sondage, nous exposerons avec quelques détails le mode d'exploration des gisements houillers. Cette application des sondages est, en effet, pour nous, l'une des plus intéressantes à l'heure actuelle, vu les proportions considérables qu'elle a prises dans le cas du bassin houiller du Nord de la Belgique. On conçoit aisément, étant donné le caractère essentiellement fugace des observations, que la constatation de la présence de couches de houille, but principal de la recherche, soit entourée des précautions les plus minutieuses. C'est ce qui nous conduit à examiner d'assez près cette question.

Nous supposerons que les terrains de recouvrement ont été traversés et reconnus à l'aide d'un ou de plusieurs systèmes de forage, et que la sonde est venue enfin butter au terrain houiller, bien reconnaissable à la nature et à l'allure de ses roches, surtout si celles-ci sont fossilifères. Notre choix du procédé de sondage pour l'exploration du terrain houiller résultera avant tout de la nécessité de déterminer aussi exactement que possible la puissance des veines de charbon. La première qualité que doit posséder une couche pour être exploitable, est en effet celle d'avoir une ouverture suffisante. On choisira donc le procédé de

sondage le plus sensible de manière à être prévenu rapidement de la rencontre d'une couche. Telle est la raison de l'emploi général, sinon exclusif, des sondes à rodage.

La rencontre d'une couche de houille est signalée au chef sondeur par la descente très rapide de la sonde. Le charbon se fore en effet, nous l'avons dit plus haut, avec la plus grande facilité. Aussitôt qu'il s'est aperçu (1) de ce changement d'allure, le sondeur suspend le forage, et attend que les boues ramenées par le courant d'eau viennent le renseigner sur la nature de la roche entamée. Si ses suppositions sont confirmées, il arrête le travail, et invite les personnes compétentes à faire la constatation. La plupart des règlements miniers exigent, en effet, que la constatation soit faite par un délégué de l'Administration. Ce seront les règles administratives qui fixeront l'importance de l'attaque préalable. Elle sera aussi faible que possible dans le cas où la constatation d'une seule couche exploitable suffit pour obtenir la concession; car, on ne tiendra compte dans l'estimation de la puissance de la couche que de la traversée officiellement constatée. Or, nous l'avons rappelé tout à l'heure, c'est de sa puissance que dépend en tout premier lieu l'exploitabilité d'une veine. Au contraire, dans le cas où le nombre de constatations à un même sondage est considérable, on peut assigner à la reconnaissance préalable une importance telle, qu'on puisse traverser sans arrêt les layettes qui sillonnent la formation houillère, et dont la constatation serait sans intérêt.

C'est sur la détermination de la puissance et de la composition de la veine que porte principalement la constatation. Elle comprend outre les observations ordinaires,

(1) Voyez page 957 la comparaison des divers systèmes sous ce rapport.

quelques opérations accessoires que nous aurons l'occasion de faire connaître dans le cours de cette description.

Nous examinerons d'abord le cas le plus fréquent, celui dans lequel on emploie comme sonde la couronne à diamants avec courant d'eau normal descendant par l'intérieur des tiges pour remonter par l'espace annulaire compris entre celle-ci et la paroi du trou.

Après reconnaissance préalable de la veine, le travail est arrêté. Avant de remonter la sonde pour la remettre en état et la débarasser des carottes, le chef sondeur aura soin de faire sur la tige à la hauteur d'un repère fixe, qui est généralement la tête du tubage, une marque bien nette.

La constatation débute par la descente de la sonde en présence du délégué, après qu'il aura vérifié qu'elle ne contenait plus de témoins. Il contrôlera la profondeur du trou, en faisant mesurer les tiges au fur et à mesure de leur descente. Puis la sonde étant arrivée au fond du trou, après lavage et même forage des boues déposées ou produites par les rechutes durant l'arrêt, il vérifiera la marque tracée sur la tige par le chef sondeur, et il établira ainsi l'origine des mesures qu'il fera par la suite.

La vérification du fait que la tige se trouve exactement au fond du trou quand la marque faite par le sondeur affleure au niveau de l'index, se fait très simplement. Le poids des tiges n'est en effet qu'incomplètement équilibré par le contrepoids. Tant que la sonde se trouve dans le vide, le poids non équilibré exercera une traction qui se reportera par l'intermédiaire du câble de suspension sur l'appareil de commande. Au contraire, à l'instant où la couronne, descendant sans rotation, vient se poser sur le fond du trou, la partie non équilibrée du poids des tiges se reporte rapidement et progressivement sur elle, et l'appareil de commande est déchargé. Il suffit donc de laisser descendre la sonde sans rotation jusqu'à ce que la traction

cesse. A ce moment, dans le système de commande à la main, le gouvernail abandonné à lui-même, ou même sollicité à continuer d'avancer, refuse de le faire. Dans le procédé Lapp, le contrepoids collé jusque-là contre le taquet supérieur b_1 , bascule. Il en est de même dans le procédé à descente libre. Souvent encore le courant d'eau s'arrête par suite de l'obstruction de la couronne, qui s'est enfoncée soit dans la couche, soit dans des boues. Un tel arrêt ne se produit dans le premier cas que si la sonde est trop fortement chargée. Il est recommandable, lorsqu'on n'est pas certain de la parfaite propreté du trou, de répéter l'opération jusqu'à résultat concordant à des intervalles de temps assez longs, cinq à dix minutes, durant lesquels on continuera à laver, après avoir remonté légèrement la couronne, si l'on craint l'affouillement de la couche par le courant d'eau. La marque du sondeur devra en fin de compte s'arrêter au niveau du repère fixe. Cependant, une légère différence n'a rien d'anormal. Il peut, en effet, y avoir eu variation dans le serrage des raccords des tiges, surtout s'il a été nécessaire d'en remplacer une ou plusieurs. Il y a lieu de tenir compte également du tassement résultant du flambement des tiges sous la compression. Car lorsque le sondeur a tracé la marque, il avait arrêté la sonde; les tiges étaient donc tendues. Dans le cas de la commande à la main avec liaison rigide, ce tassement peut atteindre 2 à 3 centimètres par 100 mètres de tiges. Enfin la présence d'un tronçon de carotte abandonné par la sonde au fond du trou peut encore fausser le résultat. On parvient parfois par une rotation lente à la main à faire rentrer ce tronçon dans le tube carottier. Mais le succès de cette manœuvre n'est pas aussi constant qu'on pourrait le désirer. La différence en plus ou en moins existant entre le repère et la marque du sondeur, lorsque la sonde repose sur le fond du trou, doit donc être appréciée

dans chaque cas. On rectifiera, si besoin en est, la position de la marque en consignnant au carnet la différence observée. Ce n'est qu'à la fin de la constatation qu'il sera possible de se faire sur ce point une opinion définitive. Hâtons-nous d'ajouter qu'il est des cas où néanmoins le doute persiste malgré tout.

Après avoir établi ainsi l'origine des mesures, on pourra entreprendre la reconnaissance de la couche. Ce travail ne repose sur aucun principe particulier. Il comprend les deux séries d'observations : mesure de la vitesse de perforation, examen des produits de forage.

Nous avons exposé plus haut les relations existant entre la nature de la roche traversée, et la rapidité d'avancement de la sonde. Sans constituer un principe absolu, la grande rapidité d'avancement caractérise la traversée de la houille. Mais il est impossible de lui assigner des limites assez resserrées. En effet, elle ne dépend pas seulement de la nature de la roche, mais encore de l'état de la couronne, de l'absence ou de la présence de témoins dans le tube carottier, bref, de nombreux facteurs dont il est impossible d'évaluer à priori l'influence. Néanmoins on peut dire que la vitesse de perforation est, tout autre facteur restant constant, de beaucoup plus grande en charbon que dans les autres roches.

On peut donc espérer pouvoir définir d'une façon assez précise la composition de la couche par le tracé d'un diagramme de la vitesse de forage. Les exemples que nous donnons ci-après permettront au lecteur de se convaincre que cet espoir est fondé. Mais il ne faut pas réclamer pour ces tracés une précision mathématique. En effet, les frottements si nombreux des engrenages du treuil, qui, dans presque tous les systèmes, commande la descente de la sonde, engendrent par instants une résistance capable d'entraver ou

tout au moins de contrarier cette descente, surtout si le poids de la sonde est presque complètement équilibré. Mais ce n'est pas là que réside la principale cause d'erreur. Il est en effet à remarquer que dans tous les procédés — exception faite d'un seul — la descente de la sonde ne se fait pas librement durant la traversée des couches de houille. Tendre et se broyant à sec, cette roche serait forée avec une rapidité telle que les boues de forage et surtout celles provenant de la dislocation de la carotte, produiraient des obstructions de nature à amener une interruption de travail, voire même un accident (1). On est donc forcé de retenir la sonde et de la laisser descendre à une vitesse qui est moyennement de dix centimètres par minute. La première conséquence est que toute roche nécessitant pour le forage de 10 centimètres, un temps moindre qu'une minute, sera considérée comme charbon. La mesure de la vitesse se faisant par chronométrage à des intervalles réguliers, on n'établit de la sorte qu'une vitesse moyenne sans qu'il soit possible de dire si la lenteur du forage d'une partie n'a pas été compensée par la rapidité de la traversée de l'autre. Il y a donc avantage à réduire autant que possible la longueur des passes et à multiplier les observations du chronomètre.

Pratiquement, après le relevage de la sonde par le lancé de mise en marche, le travail de forage est repris. Le délégué chargé de la constatation enregistre le temps nécessaire pour le forage de passes successives de 5 centimètres, en notant l'heure du passage vis-à-vis du repère fixe des marques équidistantes de 5 centimètres tracées au préalable sur la tige de la sonde, à partir de l'origine qu'il aura déterminée, ainsi qu'il a été dit plus haut. Il observera en même temps les variations dans la vitesse

(1) Le choc à la rencontre du mur pourrait aussi détériorer la sonde.

entre les marques et notera la cote à laquelle elles se produisent.

Il aura soin à cet effet de se ménager sur la tige à une hauteur convenable au dessus de l'origine un repère bien fixe auquel il pourra rapporter toutes les mesures qu'il aura à faire dans le cours de la constatation, alors que le repère originel ne sera plus visible par suite de la descente de la tige dans le tubage. Ajoutons immédiatement que l'instant où se produisent ces variations est peu perceptible, si l'on doit s'en tenir à l'observation de la sonde elle-même. C'est la raison d'être des amplificateurs.

D'autre part, la sensibilité des divers procédés est bien différente à cet égard. Que se produit-il en effet à l'instant où la sonde pénètre dans un lit pierreux, plus résistant que la houille? Nous venons de le voir : durant la traversée du charbon, on retient la sonde. Celle-ci cherche donc à avancer plus rapidement qu'elle ne le fait; elle ne porte pas sur le fond du trou, et la partie non équilibrée du poids des tiges se reporte sur l'appareil de manœuvre. Le balancier de Lapp restera donc collé contre le taquet supérieur b^1 ; dans les systèmes de commande à la main, le gouvernail sera sollicité à tourner. Si la liaison entre le treuil et le gouvernail est lâche, le brin inférieur (dans notre croquis) sera tendu. Si la liaison est rigide, l'importance de la traction ne pourra être appréciée qu'à l'instant où le sondeur passe la main d'une manette à l'autre. A l'instant où la sonde rencontre un lit d'attaque plus difficile, elle ne peut plus avancer aussi rapidement que le sondeur l'a laissé descendre. La partie non équilibrée du poids des tiges la charge progressivement; il y a bientôt équilibre parfait entre le poids des tiges et le contrepoids, le levier de Lapp retombe; le brin inférieur de la chaîne de commande des procédés à liaison lâche, cesse d'être tendu, et dans les procédés à liaison rigide, le gouvernail aban-

donné à lui même, ne tourne que très lentement. Pratiquement il s'écoule toujours un laps de temps plus ou moins considérable entre l'instant où le changement d'allure se produit et celui où il est perçu. La durée de cette phase de transition, qui existe souvent dans la roche elle-même, sera d'autant plus longue que le poids non équilibré sera plus considérable. Cette charge pourra aussi provoquer un flambement des tiges. Or, dans le système de commande à la main, la sensibilité de la roue n'est obtenue que par l'imperfection de l'équilibrage. Théoriquement le sondeur sentira bien la traction du gouvernail diminuer. Mais il faut le reconnaître, il a toujours une propension à exagérer la puissance de la couche; et ce n'est que quand la traction aura complètement cessé que, le délégué s'apercevant nettement du changement d'allure, le sondeur se résoudra à admettre qu'il a atteint un banc pierreux.

A ce point de vue, le procédé Lapp, qui comporte un équilibrage presque parfait et une grande amplification du mouvement de la sonde, nous paraît préférable. Dans le procédé à descente libre, le sondeur n'intervient évidemment pour rien; mais l'amplification du mouvement est très faible et l'observation du curseur (*i*) est très difficile en raison des oscillations que donne au balancier les frottements du touret sur sa plaque de support.

Toutes ces causes d'erreur ont pour conséquences d'atténuer les transitions et d'exagérer la puissance des lits charbonneux. Il est donc de toute importance de décrire sommairement dans le procès-verbal de constatation le type du procédé employé afin de donner une idée exacte de l'approximation des observations et partant de la valeur des conclusions.

Si après la traversée d'un banc pierreux, la sonde vient à retomber en charbon, le phénomène inverse de celui que nous venons de décrire, se produit : La sonde tire fortement et descend avec une grande rapidité.

Dans le cas où la pente des terrains est de quelque importance, la sensibilité de la sonde est de beaucoup diminuée.

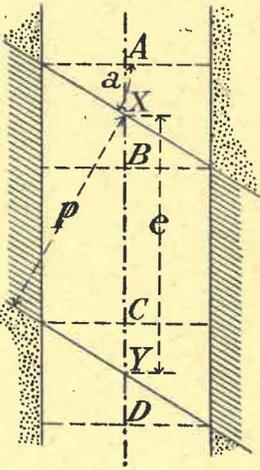


FIG. 15.

Il existe en effet une zone de transition AB ou CD (fig. 15) dont la traversée se fait à une vitesse qui tient à la fois de celles avec laquelle se forerait chacune des deux roches ; il semble cependant *a priori* que la roche la plus dure exerce une influence prépondérante. Néanmoins, dans ce cas, les changements d'allure sont moins sensibles, et la puissance des diverses assises ne peut être déterminée que d'une façon assez approximative. On remarquera que la hauteur de la zone de transition

est d'autant plus grande que le diamètre du forage lui-même est plus grand, et que l'erreur dans la détermination de l'épaisseur a une importance absolue constante, qui, négligeable pour les assises puissantes comme les schistes et les grès, peut au contraire être très considérable dans le cas de lits minces, comme le sont les veines de houille. Enfin, une couche d'épaisseur moindre que AB pourra passer inaperçue.

Les observations chronométriques, complétées par celles sur les manifestations sensibles des changements d'allure, seront consignées sous forme de tableau ou de diagramme. Elles permettront de faire une première estimation de la puissance et de la composition probables de la couche. Ces conclusions seront d'ailleurs contrôlées à l'aide de la seconde série d'observations : l'examen des produits de forage, dont nous dirons à présent quelques mots.

En général c'est à l'état de boues qu'on recueille ces produits. Ce n'est que dans le cas de charbons très compacts, ou de grands diamètres de forage, qu'on a quelques chances de recueillir des carottes. Les boues, si la couche est propre et homogène, s'étaient peu dans le courant

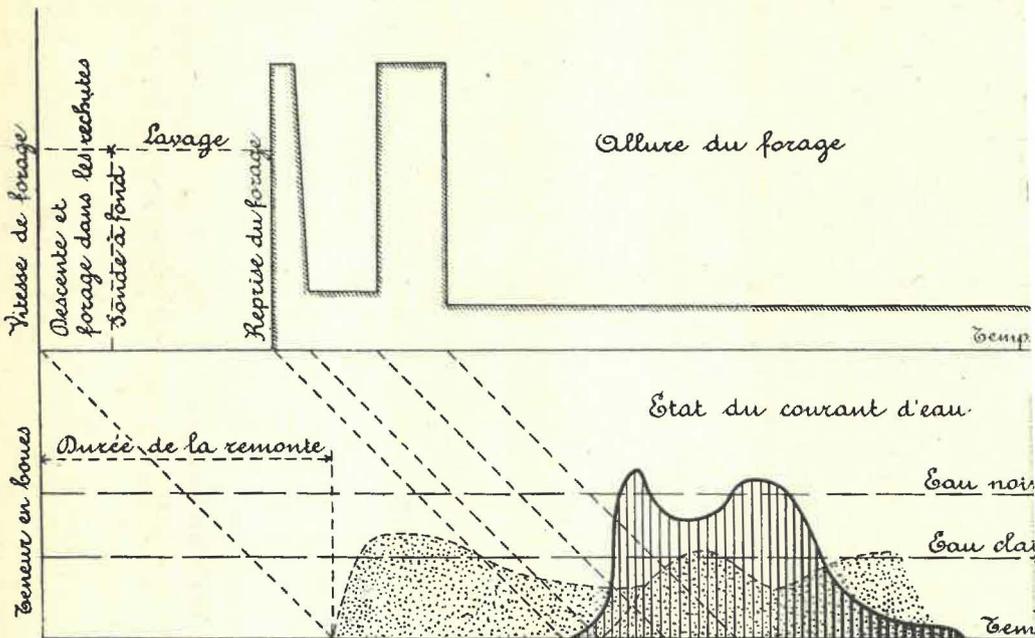


Fig. 16.

d'eau. Il y a en effet peu de variation dans la densité des grains.

Les courbes toutes schématiques (fig. 16, 17 et 18) des exemples théoriques de constatation que nous avons figurés, rappellent le mode d'étalement. Les ordonnées de ces courbes sont proportionnelles à la teneur en paillettes

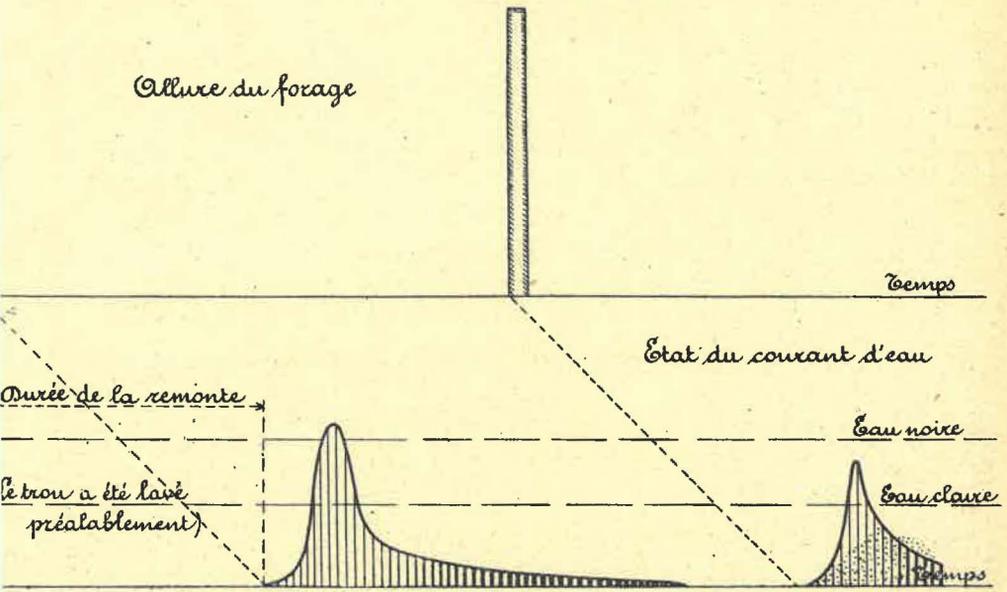


FIG. 17.

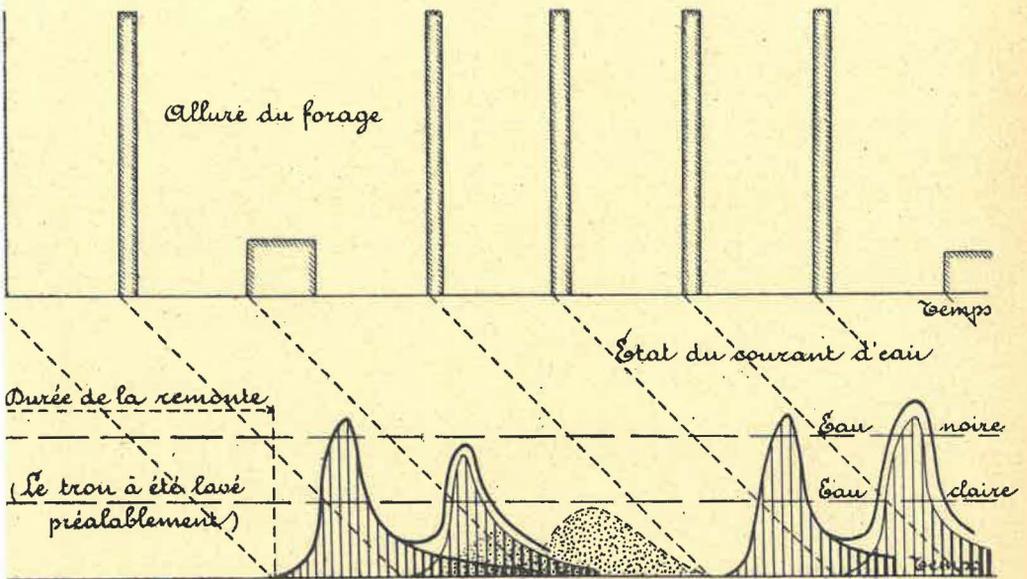


FIG. 18.

de charbon d'un litre d'eau du courant de circulation. Leur épaisseur est proportionnelle au diamètre des grains de charbon ramenés. Nous avons de même indiqué en traits interrompus l'allure des venues argileuses provenant du forage du schiste, et nous avons ponctué cette surface. Ces schlamms tenus en suspension dans le courant d'eau, lui donnent une coloration souvent assez nette; si les parcelles de charbon sont assez abondantes, elles donnent à l'eau une teinte noire très intense. Et puisque leur étalement est faible, on conçoit qu'il y ait une certaine relation entre la durée du forage et celle du temps pendant lequel le courant d'eau sort du tubage coloré en noir.

Les schlamms sont recueillis au tamis. Leur examen et leur analyse permettra de juger des qualités physiques et chimiques de la couche. Nous y reviendrons bientôt.

La traversée de la couche peut se faire en une passe sans arrêt (fig. 16), ou par fractionnement (fig. 17 et 18). Les diagrammes que nous avons tracés, peuvent après les développements précédents, être compris sans autres commentaires. Ils expriment d'une façon évidente les avantages de la seconde méthode sur la première, car elle permet une reconnaissance très exacte de la nature des roches forées en rendant possible une séparation complète des produits de forage de chaque passe.

La délimitation des passes sera évidemment systématique. On peut croire, à première vue, qu'il puisse suffire de suspendre le forage chaque fois que se manifeste une variation nette de la vitesse d'avancement trahissant une variation correspondante dans la nature de la roche. Cette méthode peut être considérée comme absolument rigoureuse, si l'on emploie le procédé à descente libre. Mais elle ne donnerait pas dans la plupart des cas des résultats aussi précis que ceux qu'on en attendait. Qu'on se rappelle, en effet, qu'avec presque tous les systèmes, la sonde est retenue durant la descente en charbon, et que dans ces conditions

toute roche nécessitant pour le forage de 10 centimètres un temps moindre qu'une minute, sera considérée comme charbon; on en conclura qu'il y a lieu de fractionner encore la traversée des lits tendres, afin de s'assurer par l'examen des boues de forage que la passe est constituée de charbon et non de schiste charbonneux, bitumineux ou de tout autre stérile peu consistant (1).

Dans tous les cas, après le forage de chaque passe, le travail est suspendu.

En général, on se borne à caler l'avancement et à arrêter la rotation. Mais il est des cas où la crainte d'affouiller la couche par le courant d'eau — crainte d'autant plus fondée que l'arrêt sera plus long — conduit à relever la sonde. Parfois encore la chute d'esquilles rocheuses, conséquence de la fissuration du terrain, est à redouter. Dans ce cas, on relève la sonde et on ne suspend pas la rotation.

En tous cas, on continue à pomper pour ramener les boues au jour. Toutefois il n'est pas nécessaire d'attendre, ainsi qu'on le préconise parfois, que la venue soit complètement terminée, avant de commencer le forage d'une nouvelle passe. Car la remonte des derniers grains est très lente. Dans le cas de sondages profonds et de faible diamètre, où la remonte des boues exige une, deux, voire même trois heures — pour la partie principale de la venue, s'entend — la constatation d'une couche de quelque importance aurait une durée exagérée. C'est ce que montre le diagramme n° 17, dont nous n'avons pu tracer que les premières lignes dans le cadre ordinaire. Il suffit de donner au temps de repos une importance suffisante pour que la séparation des venues soit effective et nette. On conçoit aisément que si l'allure de la pompe reste constante, il y aura entre les heures de forage et celles des venues un parallélisme parfait. Le courant d'eau s'échappant du tubage sera par alternances limpide et clair, ou noir et

(1) Tel est le cas de la seconde passe dans l'exemple figuré. Tout comme le charbon, ces roches ne donnent des carottes qu'exceptionnellement.

chargé de charbon (voir diagr. 18). L'exemple n° IV (voyez ci-après), montre que cette concordance persiste malgré les arrêts de la pompe pour le placement de nouvelles tiges, et qu'il est possible encore de tenir compte des variations d'allure de la pompe. Chaque venue sera mise à part et examinée séparément. On pourra également évaluer son importance, en remarquant — fait que montre la courbe totalisée du diagramme n° 18 — que la hauteur des passes restant constante, les venues doivent être de plus en plus fortes, puisqu'à leur propre apport viennent s'ajouter les grosses paillettes des forages précédents.

On remarque également que la vitesse de remonte des boues schisteuses est un peu plus grande que celle du charbon, et que l'étalement de ces venues est plus considérable. On aura donc soin dans le cas du passage de charbon à schiste d'augmenter la durée de l'arrêt afin d'éviter le mélange des venues. On aura de même soin de laver soigneusement et longuement le trou avant de commencer la constatation dans la crainte que les rechutes qui le remplissaient, ne soient pas entièrement remontées lors de l'arrivée au jour du charbon et n'en souillent par conséquent les boues. L'exemple figuré au diagramme n° 16 est donc fautif, et le tracé montre clairement les conséquences de cette faute.

La méthode par fractionnement est évidemment en défaut chaque fois que, par exception, se produirait une carotte de charbon. La quantité de boues provenant du seul passage de la couronne, serait alors trop faible pour être facilement perçue. La carotte de charbon se trouvera dans le tube carottier lors de la remonte de la sonde... à moins qu'elle ne se désagrège durant le forage des passes suivantes ou durant celui du mur par suite de la dureté du schiste. Si cette éventualité est à craindre et si le charbon provenant de la destruction de la carotte n'est vraisem-

blement pas remonté au jour, on lavera complètement le trou après arrêt du travail de forage et avant la remonte de la sonde.

La méthode rapide est encore en défaut, si le courant d'eau, en raison des rechutes ou pour toute autre cause, est chargé constamment d'une telle quantité de boues argileuses qu'il soit complètement trouble. On ne remarque plus alors que de très faibles changements de coloration lors de l'arrivée des boues charbonneuses. Cependant en forçant légèrement le temps des arrêts, on pourra encore arriver à des résultats concluants par l'observation du dépôt des boues au tamis.

A présent que nous connaissons dans ses détails le mécanisme des venues, nous pourrions examiner d'un peu plus près la valeur des essais physiques et chimiques auxquels on soumet généralement les poudres ainsi obtenues. La seconde qualité que doit posséder une couche de roche charbonneuse, pour être exploitable, est celle de fournir un produit suffisamment propre. Sa qualité, définie industriellement par sa teneur en matières volatiles et dans certains cas par son pouvoir agglutinant, est aussi intéressante à connaître, puisque la valeur du charbon et l'usage auquel il convient, en dépendent.

Poursuivant la tâche que nous nous sommes assignée, nous chercherons à établir le degré d'exactitude que peuvent avoir les analyses chimiques déterminant la teneur en cendres, et la teneur en matières volatiles des boues charbonneuses. Examinons d'abord l'origine des cendres.

Les cendres du charbon brut tel qu'il est recueilli au tamis, proviennent :

1° De la houille elle-même, qu'il s'agisse de cendres constitutives des végétaux qui l'ont formée, ou des minuscules éléments clastiques ou minéraux uniformément disséminés dans le fond même de la masse — éléments de dimensions

tellement minimes que le microscope seul peut nous révéler leur existence;

2° Des inclusions, barres ou petits nodules, terreux ou minéralisés, que contiennent certaines veines, et qui, discernables sur des échantillons d'un certain volume, sont cependant d'épaisseur trop faible pour produire une variation sensible dans la vitesse d'avancement de la sonde, lors de leur perforation;

3° Des laies schisteuses ou minérales, d'épaisseur assez forte pour provoquer une variation prolongée dans la vitesse d'avancement, de manière à pouvoir être séparées dans le cas de constatation par fractionnement;

4° De matières étrangères :

a) Schlamms schisteux ou charbonneux de toutes espèces déposés au fond du trou pendant l'arrêt. Un lavage préalable à la constatation peut, s'il est suffisamment prolongé, les éliminer complètement;

b) Boues schisteuses ou charbonneuses résultant de l'attaque des parois du trou par le courant d'eau ascensionnel ou par le ballotement des tiges. L'importance de ces rechutes est d'autant plus grande que la hauteur non tubée est plus forte;

c) Des produits de l'usure des carottes contenues dans le tube carottier;

d) Débris résultant de l'usure du matériel : étoupe, rouille, etc.

Les venues charbonneuses recueillies au tamis contiendront donc, suivant les cas, une quantité plus ou moins forte de matières étrangères à la couche. La poudre brute ne représentera la qualité moyenne de la roche charbonneuse forée, que si on constate par fractionnement en arrêt aussitôt qu'une variation de vitesse de perforation se manifeste, et que si, entre les venues, le courant de retour est suffisamment limpide pour qu'on puisse affirmer que

les rechutes sont sans importance. Dans tous les autres cas, la poudre sera souillée et conséquemment le chiffre obtenu par la teneur en cendres sera fautif. Pour le corriger, certains ont cru pouvoir ramener la teneur en cendres à zéro et établir par une proportionnelle la teneur en matières volatiles. Or, il est évident qu'industriellement, la roche charbonneuse a une teneur en cendres égale à la somme du 1° et du 2°. Aussi nous semble-t-il préférable d'éliminer par lavage à la battée les parties schisteuses des 2°, 3° et 4°. Le chiffre obtenu pour la teneur en cendres pourra, dans le cas de couches propres, être considéré comme suffisamment exact, car la quantité des parcelles charbonneuses de 3° et 4° est proportionnellement très faible. Si la couche est constituée de charbon barré, le chiffre sera inférieur à la teneur réelle. Remarquons à ce sujet qu'il existe entre le 2° et le 3° un passage continu, et que la distinction dépend de la sensibilité de l'appareil de manœuvre, variable avec le type d'appareil et la pente des terrains.

Le calcul par proportionnelle de la teneur en matières volatiles en réduisant à zéro la quantité de cendres, suppose que les venues 3° et 4° ne se composent que de matières exclusivement minérales. Or, il est évident que celles-ci peuvent avoir apporté un appoint de matières volatiles (1). La question se complique encore, si des couches supérieures, de teneurs en matières volatiles différentes, ont donné des rechutes. Dans l'autre sens, il est certain que la pulvérisation de la houille a pour conséquence de provoquer le départ d'une certaine quantité de matières gazeuses, et que l'éventement des échantillons est très rapide, si on ne prend la précaution de les tenir en flacons fermés. Enfin, les huiles de graissage en imпреignant les

(1) Grand'Eury a même cité des cas où la teneur en matières volatiles des schistes est supérieure à celle du charbon.

boues, peuvent fausser les analyses de matières volatiles. On les élimine par lavage à l'éther, etc.

Si nous avons examiné un peu longuement ce point, c'est qu'il est de toute évidence d'un intérêt capital. Notre conclusion sera qu'il est hautement désirable de posséder des échantillons d'un certain volume, sur lesquels l'examen physique et chimique peut être fait d'une manière complète et précise.

Notons enfin qu'il est de toute importance pour l'examen comparatif des résultats, qu'ils soient accompagnés d'une description succincte des préparations et des manipulations chimiques auxquelles a été soumis l'échantillon (1).

Après la traversée de la couche, on poursuit généralement le forage à une certaine profondeur dans le schiste, afin de s'assurer qu'il s'agit bien du mur (l'allure étant supposée normale), et non d'une mince intercalation pierreuse, et de constater du même coup que le charbon se trouve bien dans son gîte normal.

Finalement on arrête, on lave le trou, s'il y a lieu, puis on remonte la sonde. Le mesurage de la longueur des carottes permet de vérifier si l'ouverture attribuée à la veine, d'après les observations précédentes, n'est pas trop forte.

Si h est la longueur totale forée;

e l'épaisseur nette et totale des lits charbonneux (présumée);

l la longueur totale des carottes de stérile contenues dans le carottier, on doit avoir :

$$e \stackrel{=}{<} h - l$$

(1) Voyez à ce sujet : V. Firket, Recherches sur quelques méthodes d'analyse de charbon. *Annales des Mines de Belgique*, t. 1, 3^e livraison 1896, p. 273-295.

Mais il y a lieu de tenir compte du tronçon de carotte abandonné au fond du trou.

Soit l' la longueur de carotte contenue dans le carottier et se trouvant sous l'anneau ;

k la hauteur maxima à laquelle celui-ci peut s'élever au dessus de la couronne.

$$\text{On aura : } e \leq h - (l + k - l').$$

Il est à remarquer que par suite du glissement du ressort, la valeur de l' peut être faussée. Il sera possible de la rectifier dans une certaine mesure, si la carotte porte encore à sa surface les sillons creusés par les saillies de l'anneau.

Si l'équation n'est pas satisfaite, on rectifiera la valeur de e . Il est cependant rare qu'une vérification complète soit possible. La carotte s'est ordinairement fractionnée durant le travail, et les tronçons se sont usés par frottement. Néanmoins il est toujours utile de tenter ce contrôle.

On aura soin de ne faire intervenir dans la mesure de l le débris de toit qui aurait pu rester au fond du trou, lors de la précédente remonte de la tige qu'après un examen judicieux du cas. Culbuté obliquement sur le fond, ce tronçon aura généralement été attaqué à nouveau par la sonde, et portera la trace de deux forages, caractère qui permettra de le distinguer aisément.

La présence d'un débris de carotte de toit au fond du trou est de nature à fausser la constatation. Nous avons vu qu'elle a souvent pour conséquence de rendre impossible une vérification parfaite de la marque du sondeur ⁽¹⁾. Mais on peut encore se demander si ce tronçon n'est pas capable, entraîné par frottement, de forer la couche de charbon, si bien que la couronne ne le traverserait définitivement que lorsqu'il serait arrivé contre le mur. Un examen attentif du

(1) Voyez p. 978.

carnet d'observations pourra dans certains cas fournir la solution. En règle générale, il y aura lieu de supposer qu'il a été traversé pendant le forage de la couche et on réduira de la hauteur de ce tronçon la puissance constatée; le résultat définitif n'en restera pas moins affecté d'un certain doute : car le tronçon aura pu être partiellement usé durant le forage.

L'examen minéralogique des carottes complètera ces observations. On notera dans l'ordre la nature et l'épaisseur des tronçons. La comparaison de ces résultats et de ceux du forage pourra permettre dans certains cas de définir la nature des intercalations : terres, schistes, nodules.

On aura ainsi déterminé l'épaisseur et la composition de la couche suivant l'axe du sondage. Il faudra rectifier ces chiffres en calculant la puissance normale de la veine.

L'inclinaison des strates sur l'axe du sondage sera connue par l'examen des carottes du toit. Il n'y a en effet pas grande erreur à supposer le sondage rectiligne sur une faible longueur. La mesure de la pente sera répétée un certain nombre de fois de manière à établir une moyenne. On remarquera que cette rectification est souvent impossible dans les sondages de faible diamètre, dans lesquels les schistes bien stratifiés ne donnent que rarement des carottes. La valeur démonstrative d'une constatation est de ce fait fortement amoindrie.

La puissance p est évidemment égale à

$$p = e \cos \alpha$$

α étant l'angle de pente des strates.

Cette correction n'est cependant pas rigoureuse. Car elle suppose (fig. 15) que l'épaisseur constatée e est XY , c'est-à-

dire que le changement d'allure s'est manifesté au milieu de *AB* et de *CD*. Nous l'avons dit plus haut, il semble que durant cette zone de transition la roche la plus dure doive exercer sur la rapidité d'avancement une influence prépondérante. Aussi d'aucuns sont-ils portés à admettre que l'épaisseur de charbon, d'après l'observation des vitesses de forage, se réduit à *BC*; ils en concluent que l'épaisseur constatée est trop faible. Une solution exacte et parfaite de la question nous paraît impossible, car l'existence d'une zone de transition, faux mur ou faux toit plus ou moins épais, dans les roches elles-mêmes, modifie complètement le raisonnement. La seule conclusion pratique est que dans le cas de fortes inclinaisons, plus de 10° et surtout si le diamètre du forage est très grand, les résultats ne doivent être considérés que comme grossièrement approximatifs.

Afin de donner au lecteur une notion exacte de ces opérations, nous avons transcrit ci-après, en l'illustrant de quelques diagrammes, le carnet de quatre constatations types.

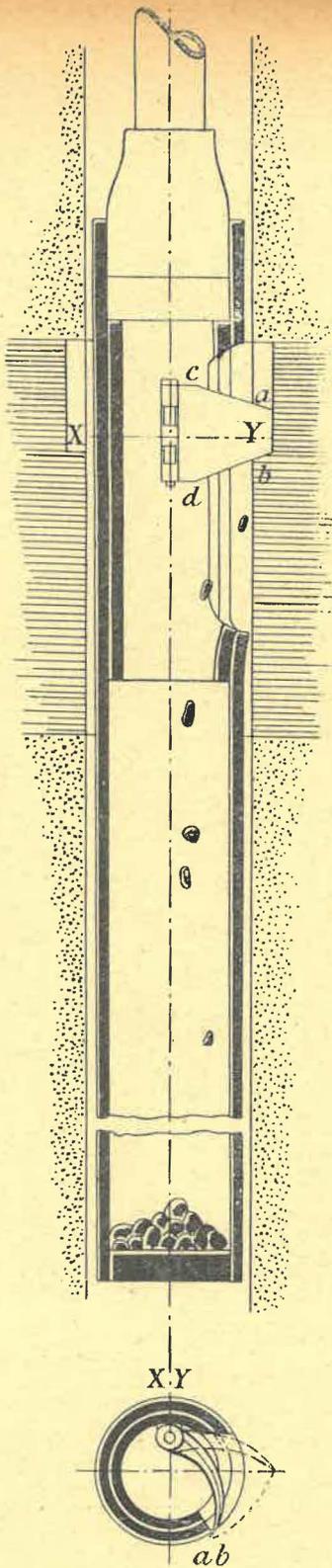
Les conclusions que nous avons adoptées, sont hautement probables. Nous nous hâtons d'ajouter que nos exemples sont choisis et que rares sont les cas où toutes les observations sont concluantes, et où le contrôle, qui résulte de leur comparaison, est possible. Encore faut-il remarquer qu'au point de vue du gisement, elles n'ont qu'un caractère absolument local. L'étude des stampes peut utilement compléter la reconnaissance des couches. Elle permettra d'établir si un brouillage ou un dérangement est probable dans le voisinage de la veine. S'il en était ainsi, il y aurait lieu de n'admettre que sous les plus expresses réserves le résultat de la constatation.

La principale critique qu'on peut faire contre cette méthode, est, à notre avis, de ne fournir qu'une indication souvent très grossière de la qualité et de la composition de la couche. Il n'en est pas de même du second mode de constatation qu'il nous reste à exposer et qui peut être appelé : Constatation à la tarière avec courant d'eau renversé. Le forage ordinaire se fait à la couronne de diamants; il en est de même de la reconnaissance préalable de la couche. Nous n'avons donc rien à ajouter sur ce point.

La couronne pour la constatation est remplacée par une tarière de même diamètre. On dispose tout de manière à renverser le courant d'eau, ainsi que dans le procédé à la tarière pour la traversée des terrains meubles. On conçoit aisément que vu la grande section du passage de retour du courant et la grande vitesse qu'on lui donne, que les produits du forage ramenés seront d'un certain volume. On a d'ailleurs soin de placer dans la tige, à un mètre au dessus de la tarière, une soupape à clapet destinée à retenir les débris qui ne pourraient passer dans les tiges supérieures, ou qui entraînés trop lentement ne remonteraient pas au jour et retomberaient dans le trou lors de la remonte de la sonde. La rotation de la tarière est faite à la main. La tarière est donc incapable de pénétrer dans les roches schisteuses, ce qui permet une mesure très exacte de la puissance de la veine (hormis le cas de couches inclinées, car la sonde s'arrête dès qu'elle rencontre le schiste) (fig. 15), c'est-à-dire un peu au delà de *C*.

Toutefois dans le cas de couches en plusieurs laies, ce procédé est peu applicable en raison du temps considérable qu'exigeraient les manœuvres pour le remplacement de la tarière par la couronne et inversement.

On a tenté d'employer le procédé avec la sonde au dia-



mant au lieu de tarière. L'exemple n° 3 édifiera le lecteur sur la valeur de cet essai et la composition — exceptionnelle, il est vrai, — de la couche lui permettra de juger des retards qu'aurait subis la constatation, si on l'avait reprise et poursuivie avec ce procédé.

La constatation par courant renversé est enfin très dangereuse dans le cas où les rechutes seraient abondantes. Car entraînées par le courant vers le bas, celles-ci tendent à caler la sonde. Telle est la raison de la crainte, exagérée peut être, qu'ont les sondeurs de ce procédé.

Il peut être intéressant dans certains cas de contrôler les résultats de sondage au diamant ou encore de se procurer des échantillons de charbon en roche. C'est dans ce but qu'ont été construits les élargisseurs.

Les modèles sont nombreux; nous en décrirons le plus simple (fig. 19).

L'appareil se compose essentiellement d'un tube portant à sa partie supérieure le couteau élargisseur qui, monté sur char-

FIG. 19.

nière, peut faire saillie à l'extérieur. Le tube, d'un diamètre légèrement inférieur à celui du sondage et long de 1^m50 à 2 mètres, est fermé au bas, de manière à servir de boîte à échantillons. Sa partie supérieure est souvent renforcée par une fourrure qui compense l'affaiblissement produit par l'ouverture servant au passage des morceaux de roche arrachés par le couteau. La forme de celui-ci est généralement triangulaire. La partie *ab* est seule tranchante, tandis que les côtés *ac* et *bd* sont façonnés en biseau, de manière à ce que tout obstacle que le couteau viendrait à rencontrer dans ces mouvements verticaux, le fasse automatiquement s'effacer. Il en résulte que les manœuvres de descente et de remonte peuvent se faire à grande vitesse. Cette considération est d'une importance considérable pour les sondages sujets à des rechutes. Car l'appareil travaille sans courant d'eau et court d'autant plus de risques de calage que le temps des manœuvres est plus long. On a d'ailleurs soin de ménager en dessous de la couche à élargir un trou de hauteur suffisante non seulement pour loger l'appareil, mais pour recevoir les boues qui se déposeront pendant l'arrêt et la manœuvre.

Aussitôt après forage de ce trou, la couronne à diamants est remontée au jour. On remplace le tube carottier par l'élargisseur, et on descend cet instrument. Arrivé à la profondeur voulue, on imprime à la main, à l'aide de clefs, un mouvement de rotation aux tiges. Comme on le remarque sur la coupe *AB* du croquis, le couteau fait par sa lame *ab* une légère saillie sur le tube. Cette saillie est suffisante pour provoquer l'ouverture complète de la lame à la rencontre du moindre obstacle. Sous l'effort de rotation, le couteau s'ouvre, puis attaque la roche. On fait progresser petit à petit l'appareil de haut en bas. La manœuvre terminée, il suffit de donner aux tiges une légère rotation inverse ou encore de relever, pour amener la fermeture automatique du couteau.

Cet appareil si simple ne donne cependant que d'une façon très irrégulière des résultats satisfaisants. C'est ce qui résulte des quelques essais tentés à divers sondages exécutés pour la recherche de la houille en Campine.

Nous venons de dire le danger de son emploi, surtout si le forage est sujet à des rechutes importantes. Il n'est pas difficile de comprendre la raison de son irrégularité. Il ne peut, en effet, être employé avec succès que dans le cas où le trou est encore à son diamètre primitif. Car la saillie du couteau est toujours très faible et n'atteint que rarement 25 millimètres. Elle varie d'ailleurs avec le diamètre. Il suffit donc que le charbon soit peu tenace, que le délitement du mur amène un éboulement partiel de la couche, ou encore que le ballotement des tiges flagelle les parois durant un temps suffisamment long, pour que le couteau même complètement ouvert ne puisse attaquer la roche. Lorsqu'on voudra tenter l'emploi de l'élargisseur, on devra donc en tous cas se hâter de faire cet essai aussitôt après la reconnaissance de la couche par forage au diamant.

Enfin cet appareil est peu précis. Dans le cas de couches inclinées, il ne permet qu'une vérification grossière. Le repérage constitue d'ailleurs toujours une opération très délicate. On a tenté à diverses reprises des constatations fractionnées en séparant les produits de retaillage de diverses laies par des lits de grenailles de plomb qu'on laissait tomber par l'intérieur des tiges. Mais le temps nécessaire à la descente de ces grains à grande profondeur est assez considérable. D'où grande lenteur dans les opérations, et parfois augmentation exagérée du danger de calage par les rechutes. Ces essais sont d'ailleurs restés stériles.

Si nous avons cru devoir les signaler, c'est en raison du haut intérêt que présente cette opération de contrôle.

EXEMPLES.

Nous avons choisi quelques cas types et de nature à compléter utilement notre exposé. Nous les transcrivons tels que nous les avons recueillis.

Toutes les observations chronométriques ont été faites à l'aide d'une bonne montre à secondes. On conçoit que cette mesure possède une approximation suffisante et bien en rapport avec celle des autres appareils employés. La pose des marques n'avait d'ailleurs été faite qu'approximativement. Il y a de même une erreur d'observation dans la perception de l'instant de leur passage, en face du repère fixe.

EXEMPLE N° 1.

*Constatacion en une passe — Commande à la main
à liaison rigide.*

Diamètre de la sonde, extérieur : 51 millimètres; intérieur : 32 millimètres (diamètre moyen des carottes 26).

Hauteur de la partie non tubée : 30 mètres.

Pente du toit : faible.

Sonde à fond. Marque relativement exacte. Le tubage de 3 pouces a été fait en colonne perdue et le flambement des tiges de la partie supérieure est très important.

Carnet.

COTE	HEURE DU PASSAGE			TEMPS DE FORAGE		OBSERVATIONS
	h.	m.	s.	m.	s.	
0	VII	31	35	—	35	Attaque préalable déclarée par le sondeur 20 centim. Lavage préalable 1 1/2 heure. — Eau claire ne déposant au tamis que quelques gouttes d'huile.
5		32	10	—	35	
10		32	45	—	30	
15		33	15	—	30	
20		33	45	—	25	
25		34	10	—	35	
30		34	45	1	5	
35		35	50	3	30	
40		39	20	4	—	
45		43	20	8	—	
50		51	20	4	45	La sonde tire moins fort. La descente devient plus lente à 33-34 à en juger par l'observation de la tige.
55		56	5	5	15	
60	VIII	1	20	5	20	
65		6	40	7	15	
70		15	40	8	10	
75		23	50	5	20	
80		29	10	7	50	
85		37	—	6	—	
90		43	—	9	30	
95		52	30	—	—	
110		non observé.			—	On arrête le travail et on remonte les tiges. La sonde contenait : 1 c/m de carotte (débris) schiste noir très fin (toit ?). 28 c/m de schiste psammitique dur micacé barré de cordons noirs (<i>stigmalaria</i>).

CONCLUSION : On a foré 33 centimètres de charbon ;
 77 id. de mur psammitique.
 110 centimètres.

La couche est en une laie de $20 + 33 = 53$ centimètres
 d'ouverture. Son allure est normale.

EXEMPLE N° 2.

*Constatacion fractionnée. — Commande à la main
 à liaison lâche.*

Diamètre de la sonde 76 millimètres.
 Diamètre des carottes 64 id.
 Hauteur de la partie non tubée 54 mètres
 Examen du toit Schiste foncé, allure plate.
 Lavage préalable 1/2 heure.

La marque du sondeur a été vérifiée par deux fois, avec
 intervalle de dix minutes. Les résultats ont été concordants.
 La marque s'est arrêtée à 8 centimètres au dessus de la tête
 de tubage servant de repère fixe.

Le zéro a été rectifié en conséquence.

Vitesse de forage.

COTE	HEURE DU PASSAGE			TEMPS DE FORAGE		OBSERVATIONS
	h.	m.	s.	m.	s.	
0	X	29	10			Le sondeur a déclaré qu'il avait pénétré de 20 cm. dans la couche. L'eau limpide dépose encore au tamis quelques grains de charbon.
5			40		30	
10			55		15	
15		30	8		13	
20			30		22	
20		35	42	5	12	Arrêt.
25					32	
25		36	14		15	
30			29		18	
35			47		13	
40		37	0	9	30	Arrêt.
40		46	30		30	
45		47	0			Le manomètre de la pompe monte à 30 atmosphères. On ralentit la descente.
50		48	0	1	—	
55			20		20	
60			45		25	
60		54	20	5	35	Arrêt.
65					40	
65		55	0		37	Eau limpide de couleur verdâtre.
70			37		13	
75			50		25	
80		56	15			
80				5	20	
80	XI	1	35	1	—	
85		2	35			

COTE	HEURE DU PASSAGE			TEMPS DE FORAGE		OBSERVATIONS
	h.	m.	s.	m.	s.	
90	XI	2	57		22	
95		3	20		23	
100		4	—		40	La chaîne de manœuvre commence à manifester une traction moindre.
100		10	35	6	35	Arrêt.
105		12	35	2	—	
110		13	10		35	
115		14	35	1	25	
120		16	5	1	30	
125		17	35	1	30	Eau limpide et sans dépôt au tamis.
130		19	35	2	—	
135		21	—	1	25	
140		22	5	1	5	
145		24	5	2	—	53 minutes après le commencement de l'attaque, les premières paillettes de charbon arrivent au jour.
150		24	35	—	30	On note une chute rapide sur 2-3 cm., vers 146, chute de quelque importance de 158-165.
160		26	25	1	50	
170		29	25	3	—	
180		32	55	3	30	
190		37	55	5		
200		40	55	3		On arrête le forage, puis On remonte la sonde.

VENUES					FORAGES		
HEURE du début	DURÉE de la venue	DURÉE de la remonte	ETAT du courant d'eau	AU TAMIS	PASSE de	DURÉE du forage	ALLURE du forage
h. m. s.	m. s.	m. s.			lavage préalable	m. s.	
XI 17 —	—	—	limpide, claire	rien		—	—
22 30	2 30	53 —	finalt noire et opaque	charbon en grande quantité	0 - 20	1 20	rapide
25 —	4 50	—	claire	—	à 20	5 —	arrêt
29 50	3 —	54 —	noire	charbon	20 - 40	1 18	rapide
32 50	10 40	—	limpide	peu de charbon	à 40	9 30	arrêt
43 30	3 —	57 —	noire	charbon	40 - 60	2 15	rapide avec à coup vers 50
46 30	6 30	—	claire, brune, verdâtre	—	à 60	5 35	arrêt
53 —	—	59 —	id. un peu plus foncé	un peu de charbon	60 - 80	1 55	assez rapide
—	—	—	—	—	à 80	5 20	arrêt
—	—	—	id.	—	80 - $\frac{90}{100}$	2 25	peu rapide
—	—	—	—	—	à 100	6 35	arrêt
XII 6 —	—	55 —	—	paillettes de charbon et de schiste	100 - 200	—	généralement lent

La sonde contenait :

5 centimètres de schiste fin, bien stratifié, débris altéré; un petit morceau de schiste bitumineux (escaille); 88 centimètres de schiste psammitique peu irrégulier à *stigmaria*. Mur.

Le bas de la carotte était à 12 centimètres au dessus de la couronne.

CONCLUSIONS. — Le débris de 5 centimètres provenait du toit. Il avait faussé la marque du sondeur et s'était probablement usé durant le travail. La roche tendre a donc au maximum 90 centimètres d'épaisseur. Ce chiffre cadre bien avec la longueur des carottes recueillie.

La couche n'est pas propre. Mais il est difficile de définir la position de l'escaille. Le parallélisme des venues est assez satisfaisant. Leur allure ferait considérer comme schisteuses les dernières passes qui d'ailleurs ont été forcées un peu plus lentement. Toutefois, il y a pu avoir production de carottes de charbon, qui ont été broyées par la suite. Ce point ne peut être élucidé, parce que le trou n'a pas été lavé après arrêt du travail et avant la remonte des tiges.

L'ouverture totale de la couche est vraisemblablement de 110 centimètres en tenant compte de l'attaque préalable de 20 centimètres déclarée par le sondeur. Elle est au minimum de 80 centimètres.

EXEMPLE N° 3.

Constatacion à courant renversé. Procédé Lapp (avec engrenages multiplicateurs intermédiaires entre l'arbre du contrepoids et celui du treuil).

Diamètre de la couronne . . . 70 millimètres.

Diamètre de la carotte . . . 46 id.

Hauteur de la partie non tubée 0 id.

Pente des strates. . . . Environ 10°.

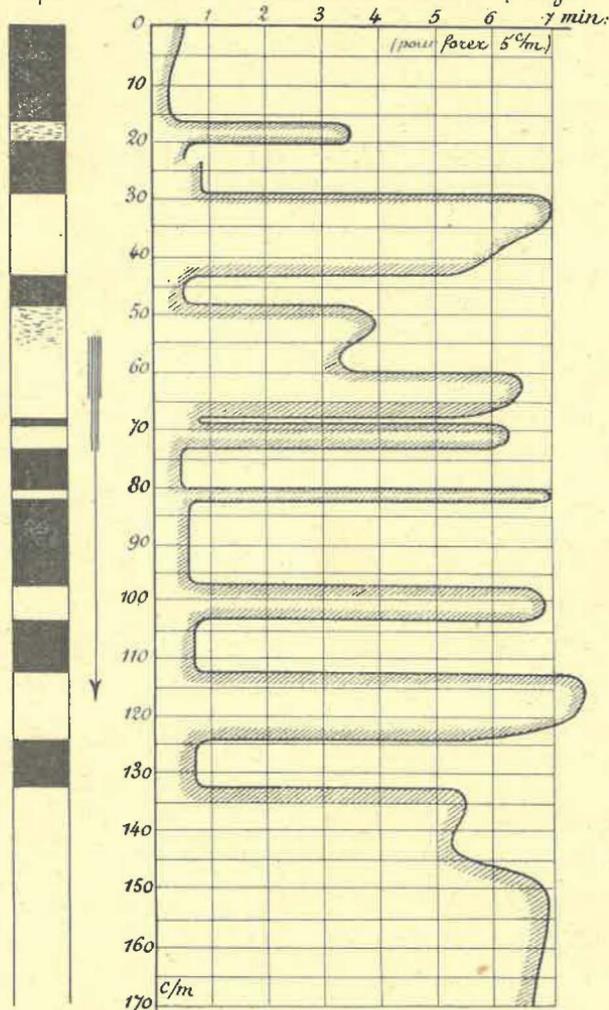
Trou propre et lavé à fond préalablement (1 heure).

Carnet.

COTE	HEURE DU PASSAGE			TEMPS DE FORAGE		OBSERVATIONS
	h.	m.	s.	m.	s.	
0	XII	4	56			Attaque préalable déclarée par le sondeur 25 centimètres.
5		5	12		16	
10			40		28	
15		6	5		25	A 16 la descente ralentit, elle s'accélère de nouveau à 20.
20		9	—	2	55	
23		10	9	1	9	Arrêt: reprise 9.25, la sonde s'obstrue.
						Arrêt, le courant d'eau refuse de passer. On remonte la sonde.

Coupe

Résistance de la roche au forage.



Par suite du fonctionnement de la soupape, les tiges étaient restées pleines d'eau. Les dix tiges inférieures (de 5^m00) contenaient de l'eau noire tenant en suspension de menues parcelles charbonneuses. Le tube carottier contenait, sur 20 centimètres, des débris divers mélangés, qui étaient retombés sur la soupape :

du charbon menu en grains de la grosseur d'une noisette ;
deux plaques de charbon noir brunâtre, stratifié, très compact, brûlant à l'allumette en répandant une odeur bitumineuse. La plus grande plaque avait 1/2 centimètre d'épaisseur et une surface de 3 à 4 centimètres carrés ;

un débris de 1 centimètre de schiste de toit et divers fragments du même schiste.

L'obstruction de la sonde doit être attribuée à la formation d'une carotte de schiste (16 — 20) qui, enlevée par le courant, se sera collée contre la soupape.

Cette constatation a été poursuivie par la méthode ordinaire, en une passe. La composition très spéciale de cette veine nous permet de donner au lecteur un exemple typique des variations de vitesse de forage, en même temps qu'il lui permettra de juger de la sensibilité du procédé Lapp. Nous avons tracé un diagramme résumant les indications du carnet.

Les ordonnées sont proportionnelles à la résistance à la pénétration mesurée par le temps nécessaire au forage de 5 centimètres de roches (fig. 20).

COTE	TEMPS DE FORAGE		OBSERVATIONS
	m	s.	
23	—	33	Le temps a été mesuré au chronomètre à secondes. Nous avons supprimé ici la colonne des observations directes. Le courant circule depuis 22 m. 40 s. Le contrepois décolle (du taquet supérieur) à 29.
25	1	47	
30	7	—	
35	6	—	
40	2	15	A 42, le contrepois se colle à nouveau.
45	1	10	Pour décoller à 48.
50	4	—	
55	3	20	
60	6	30	
65	4	30	A 68, chute rapide sur 1 centimètre.
70	5	15	A partir de 73 } le contrepois se cale au taquet supé- } rieur. jusque 80 } avancement rapide. } le contrepois se décolle à 80.
75	—	35	
80	3	40	
85	—	35	
90	—	45	
95	4	25	Vers 97, descente plus lente, le contrepois bascule.
100	6	10	Vers 103, avancement rapide, le contrepois se colle au taquet.
105	—	45	
110	5	—	A 112, descente plus lente, le contrepois bascule.
115	7	25	
120	6	15	A 124, avancement rapide } avancement. } régulier.
125	—	45	
130	3	45	A 133, plus lent, le contrepois décolle.
135	5	30	
140	5	15	
145	6	15	
150	6	55	
155	6	55	
160	4	20	
165	5	20	
170			Arrêt ; on remonte la sonde.

Bien que cette constatation n'ait pas été fractionnée, elle en a néanmoins présenté l'allure. Le tableau ci-après permettra d'en juger. On remarquera qu'il est nécessaire de donner aux arrêts une certaine durée, si l'on désire une grande netteté dans les venues.

DURÉE de la REMONTÉ	DURÉE de la VENUE	ASPECT du COURANT D'EAU	AU TAMIS	PASSE DE	DURÉE du FORAGE	ALLURE du FORAGE
m.	m. s.				m. s.	
20		eau noire, puis eau propre	charbon (venue forte)	Lavage des schlamms abandonnés dans le trou (20-23, etc.)		
20	2 30	eau noire	charbon (venue peu forte)	23-29	1 20	rapide
		eau grise, puis eau propre		20-42	15 45	lente
26	2 —	eau noire	charbon	42-48	— 40	rapide
		eau générale- ment grise	charbon et schiste	48-73	24 5	irrégulière générale- ment lente.
28	8 —	eau brune, puis noire	venue très abondante	73-80	1 6	rapide
		»		80-82	3 10	lente
		»		82-97	1 55	rapide
		»		97-103	9 50	lente
		»		103-112	1 25	rapide
		eau claire		112-124	17 45	lente
32	3 30	eau brune, puis noire eau claire	charbon	124-132	1 20	rapide
				132-170		lente

La sonde ramenée au jour contenait des débris de carottes (15 centimètres) d'un schiste de mur.

Nous avons figuré la composition probable à côté du diagramme.

EXEMPLE N° 4.

Constatation fractionnée. — Procédé à descente libre.

Dans ce procédé, l'allongement de la tige se fait par rallonges successives de 1 mètre environ de hauteur. On remarquera que la régularité des venues n'est pas troublée par cette manœuvre, qui nécessite l'arrêt de la pompe, et qu'il est même possible de saisir l'influence des variations d'allure de celle-ci. On remarquera aussi la grande variation dans les vitesses de forage, phénomène bien naturel puisque la sonde descend librement.

Diamètre de la couronne : 55 millimètres.

Id. id. carotte : 22 millimètres.

Hauteur de la partie non tubée : 34.54 mètres (1).

Allure du toit : Les strates supérieures étaient inclinées de 8-9° sur l'axe du sondage. L'allure à 20 mètres au-dessus de la couche était toujours plate. Les schistes n'ont plus donné de carottes sur cette hauteur.

Trou lavé à fond et complètement.

La marque du sondeur a été vérifiée. Elle était exacte.

Nous avons supprimé dans le carnet ci-après la colonne des heures de passage, qui est sans intérêt, et nous avons d'autre part figuré en un diagramme les variations de vitesse de forage, et le parallélisme des forages et des venues. Il y a lieu dans l'appréciation des variations de vitesse de tenir compte des erreurs dans le tracé, toujours sommaire des marques sur la tige.

Le charbon est figuré par des lignes verticales, le schiste par des points (fig. 21).

(1) Dont 0m94 de charbon et 1m38 de schiste charbonneux.

PASSE DE	TEMPS DE FORAGE	OBSERVATIONS
	m. s.	
de 0 à 5	45	Attaque préalable 20 c/m. La pompe est attaquée par courroie par la machine motrice qui donne également le mouvement à la sonde. Allure de la pompe : 13,5 tours par minute. Vers 13, la sonde reprend une allure vive. Arrêt.
5 10	1 30	
10 13	1 40	
à 13	6 10	
de 13 à 20	40	Hésitation vers 17.
20 25	20	
25 30	15	
30 37	30	
à 37	5 35	Arrêt.
de 37 à 40	10	
40 45	15	
45 50	45	Vers 47, hésitation.
50 52	35	A 51, ralentissement.
à 52	8 20	Arrêt.
de 52 à 55	30	
55 60	45	A 58, allure plus rapide.
60 65	20	
65 70	50	Vers 67, plus lent sur 1 c/m.
70 77	25	
à 77	12 40	Arrêt. On pose une rallonge. Arrêt de la pompe : 1 m 5 s.
de 77 à 80	10	Allure de la pompe : 12 3/4 tours par minute.
80 85	22	
85 90	23	
90 95	15	
95 100	17	
à 100	6 23	Arrêt.
de 100 à 105	30	
105 110	25	
110 115	20	

PASSE DE	TEMPS DE FORAGE	OBSERVATIONS
115 120	15	
à 120	6 5	Arrêt.
de 120 à 125	25	
125 130	40	
130 135	20	
135 140	12	
à 140	5 53	
de 140 à 145	10	
145 150	17	
150 155	11	
155 158	10	Ralentissement à 158
à 158	5 20	Arrêt.
de 158 à 165	2 40	A 163, allure plus rapide.
à 165	5 50	Arrêt.
de 165 à 170	30	
170 175	4 20	Ralentissement à 175.
175 180	8 —	
à 180	13 —	Arrêt: On pose une nouvelle tige. Arrêt de la pompe : 55 s.
de 180 à 185	7 —	Allure de la pompe : 13 tours par minute.
185 190	6 —	
190 200	9 —	
200 210	8 —	
210 220	10 —	
220 230	10 —	
230 240	11 —	Vu le peu de chance d'avoir des carottes en raison du faible diamètre, et la netteté des venues, on n'a pas remonté la sonde.

TEMPS nécessaire à la REMONTE	DURÉE approximative de la VENUE	ASPECT du COURANT D'EAU	AU TAMIS	PASSE DE	ALLURE du FORAGE	DURÉE du FORAGE
m.	m. s.					m. s.
77	3 —	blanchâtre, argileux limpide	charbon fin et schiste —	0-5 et 5-13 à 13	rapide, puis lente arrêt	3 55
77	1 30	gris-noirâtre eau faiblement colorée brune	charbon, assez propre charbon	13-37 à 37	assez rapide arrêt	1 45
78	2 30	un peu grise, puis plus noire limpide	un peu de charbon —	37-52 à 52	rapide arrêt	1 45
81	—	eau grise, noire par bouffées limpide	beaucoup de charbon charbon	52-77 à 77	assez rapide avec hésitations arrêt	2 50
83	2 —	eau noire limpide	charbon	77-100 à 100	rapide arrêt	1 27
81	2 30	gris - noirâtre, puis noirâtre limpide	charbon	100-120 à 120	rapide arrêt	1 30
82	3 —	noirâtre limpide, légèrè- ment jaunâtre	charbon	120-140 à 140	rapide arrêt	1 37
81	1 30	noire blanchâtre, assez limpide	beaucoup de charbon charbon et schiste	140-158 à 158	très rapide arrêt	— 48
82	—	la teinte fonce un peu blanchâtre, schisteuse, peu chargée	charbon et schiste charbon et schiste	158-165 à 165	lente, puis rapide arrêt	2 40
80	—	un peu plus brunâtre eau blanchâtre	charbon et schiste rares paillettes de charbon-schiste	165-180 à 180	rapide, puis lente arrêt	12 50
—	—			180-240	très lent	»

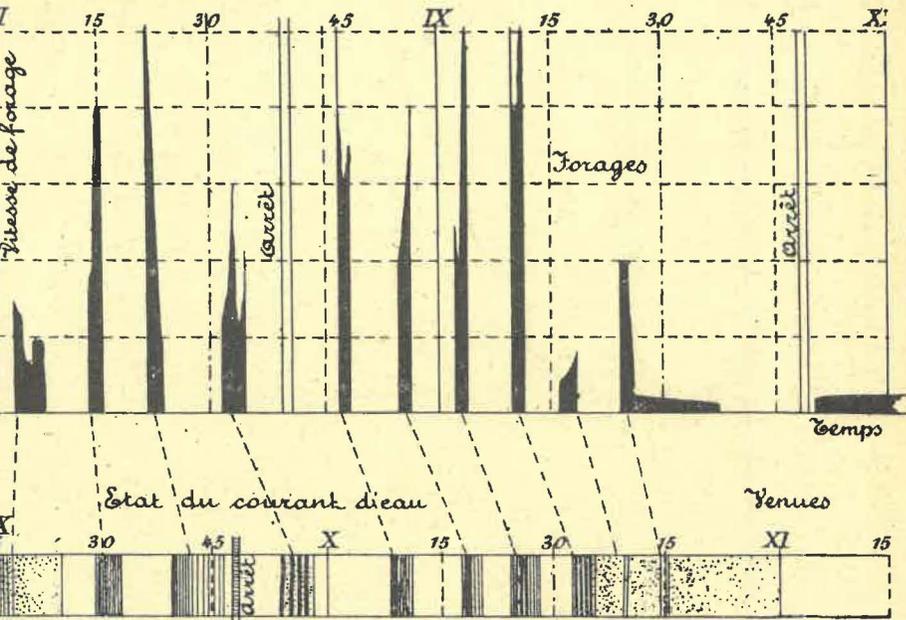


FIG. 21

Les venues de charbon ont été de plus en plus copieuses et chargées de paillettes de plus en plus grosses.

La quantité totale recueillie au tamis en toile contenait 1/5 de schiste environ (séparé par lavage à la battée).

Composition probable :

Charbon	20 + 5 =	25 centimètres.
Schiste	8	id.
Charbon (avec barre schisteuse de 20 centimètres).	145	id.
Schiste	5	id.
Schiste et charbon	7	id.

NOTES ADDITIONNELLES

I

Il est dans notre travail une lacune assez importante, que nous désirons combler. Traitant de la détermination de la direction et de l'inclinaison des couches, nous avons dit que la méthode géométrique suppose que les sondages ne sont pas déviés de la verticale. Dans ces conditions, la profondeur du point de recoupe d'une couche est mesurée par la longueur du trou forée pour l'atteindre, et la position de ce point coïncide en plan avec celle de l'orifice du trou. En fait, il se produit toujours des déviations plus ou moins considérables, plus ou moins irrégulières. Les résultats sont donc toujours erronés. Il en est évidemment de même de ceux fournis par des mesures directes faites sur des carottes.

La connaissance des déviations d'un sondage est donc des plus intéressantes. Elle permet soit de rectifier les données (méthode géométrique), soit d'apprécier l'exactitude des résultats (cas des mesures directes). Répétée de distance en distance, cette mesure définit l'allure de la ligne de coupe, donnée dont l'importance n'échappera pas au lecteur.

La mesure des déviations d'un sondage peut se faire par une méthode simple, employée par la *Société d'Entreprises générales de forage de puits, études et travaux de mines*, de Paris (1). Elle consiste à faire descendre dans le

(1) Voyez A. HABETS, *Le matériel des mines à l'Exposition de Paris 1900. Revue universelle des mines*, 1901, 5^{me} série, t. LIII, 2^{me} numéro, p. 133.

trou un curseur de diamètre légèrement inférieur à celui du sondage, retenu par une corde attachée en son centre. La mesure de quelques longueurs permet de calculer très simplement la déviation du trou. Cette méthode est simple. Elle permet de faire très rapidement une série de mesures sur toute la hauteur du sondage. Mais elle est en défaut dès que la déviation est assez forte pour que la corde de suspension touche la paroi du trou. Elle ne convient donc qu'aux trous régulièrement déviés, larges et peu profonds.

Dans tous les autres cas, il faut recourir à l'emploi d'un appareil qui, descendu à l'endroit voulu, y enregistre l'inclinaison soit de l'horizontale, soit de la verticale sur l'axe du sondage, et fixe l'orientation de cette inclinaison.

Nous pouvons citer comme étant des plus ingénieux, le dispositif adopté par M. C. Otto, de Hildesheim, dans son *stratamètre* (voyez page 965). L'appareil se compose d'une boîte étanche placée à une certaine hauteur au dessus de la couronne dans des tiges en bronze. La boîte est divisée en deux compartiments par la caisse du mouvement d'horlogerie. Le compartiment supérieur renferme l'aiguille aimantée; le compartiment inférieur est celui du fil à plomb. Ce fil est suspendu au centre de la section. Il s'oriente librement — de même que l'aiguille aimantée — durant le temps de repos qu'on donne à la sonde après forage de la carotte. A l'heure choisie, le réveil déclenche, et en même temps qu'il cale l'aiguille de la boussole, laisse dévider le fil de suspension du fil à plomb. La pointe de la masse vient frapper une mince feuille de métal placée sur le fond de la boîte. Puis, afin d'éviter qu'une seconde marque ne s'y imprime par suite des mouvements ultérieurs, le réveil relève, après quelques instants, le fil à plomb à sa hauteur primitive. Connaissant la hauteur du compartiment et l'orientation de la plaque, on déduit aisément de la trace

laissée par la pointe, la direction et l'importance en inclinaison de la déviation.

Cet appareil mesure l'inclinaison de l'axe du sondage sur la verticale. L'appareil de Nolten (1) permet de mesurer l'inclinaison de l'axe sur l'horizontale. A cet effet, on dispose dans le compartiment inférieur d'un appareil semblable au stratamètre, une capsule en verre partiellement remplie d'acide fluorhydrique dilué. L'appareil étant descendu à la profondeur voulue, on le laisse en repos durant un temps suffisant. L'anneau de corrosion, produit par l'attaque de l'acide sur le verre, permet de fixer l'importance et l'orientation de la déviation.

Cet appareil est d'un maniement dangereux, et est moins sensible que le stratamètre. Dans celui-ci, on peut en effet, pour la mesure des petites inclinaisons, augmenter la sensibilité en exagérant la hauteur du compartiment, tandis que dans l'appareil de Nolten, on est limité par le diamètre.

La correction des valeurs obtenues par mesures directes pour la direction et l'inclinaison des strates ne peut se faire d'une façon complète. Car il est à remarquer que la déviation a pour effet de contrarier l'orientation de l'aiguille aimantée:

Dans le cas de terrains magnétiques, il faudrait évidemment supprimer la boussole, et recourir à l'emploi d'une manœuvre semblable à celle que nous avons décrite pour la descente du trépan (page 42).

II

La formule du débit d'un trou de sonde, qui a recoupé une couche aquifère, que nous avons donnée page 969, est, peut-on dire, statique. C'est le débit durant les intervalles

(1) Tecklenburg, *Handbuch der Tiefbohrkunde*, Leipzig, 1889, III, 30.

de repos. Mais lorsque le courant d'eau circule, la contre-pression est supérieure à h de la charge k nécessaire pour vaincre les résistances qui s'opposent à la remonte du courant depuis le fond jusqu'au jour.

La formule dynamique serait donc :

$$\mu. \pi de \sqrt{H - (h + k)}$$

Notre raisonnement subsiste évidemment tout entier, si pour l'examen du phénomène on substitue à h la valeur $(h + k)$. Nous pensons que dans le cas de couches assez perméables l'influence de k est plutôt heureuse. Car cette augmentation de la contrepression a pour effet de faciliter et d'augmenter les phénomènes d'absorption. Ces phénomènes sont peu nets, quand H diffère peu de $(h + k)$; mais au repos ces sondages sont jaillissants, si h a une certaine importance. La rencontre de la nappe sera donc plus facilement décélée.

SOMMAIRE

	PAGES
1. — Introduction	927

PREMIÈRE PARTIE

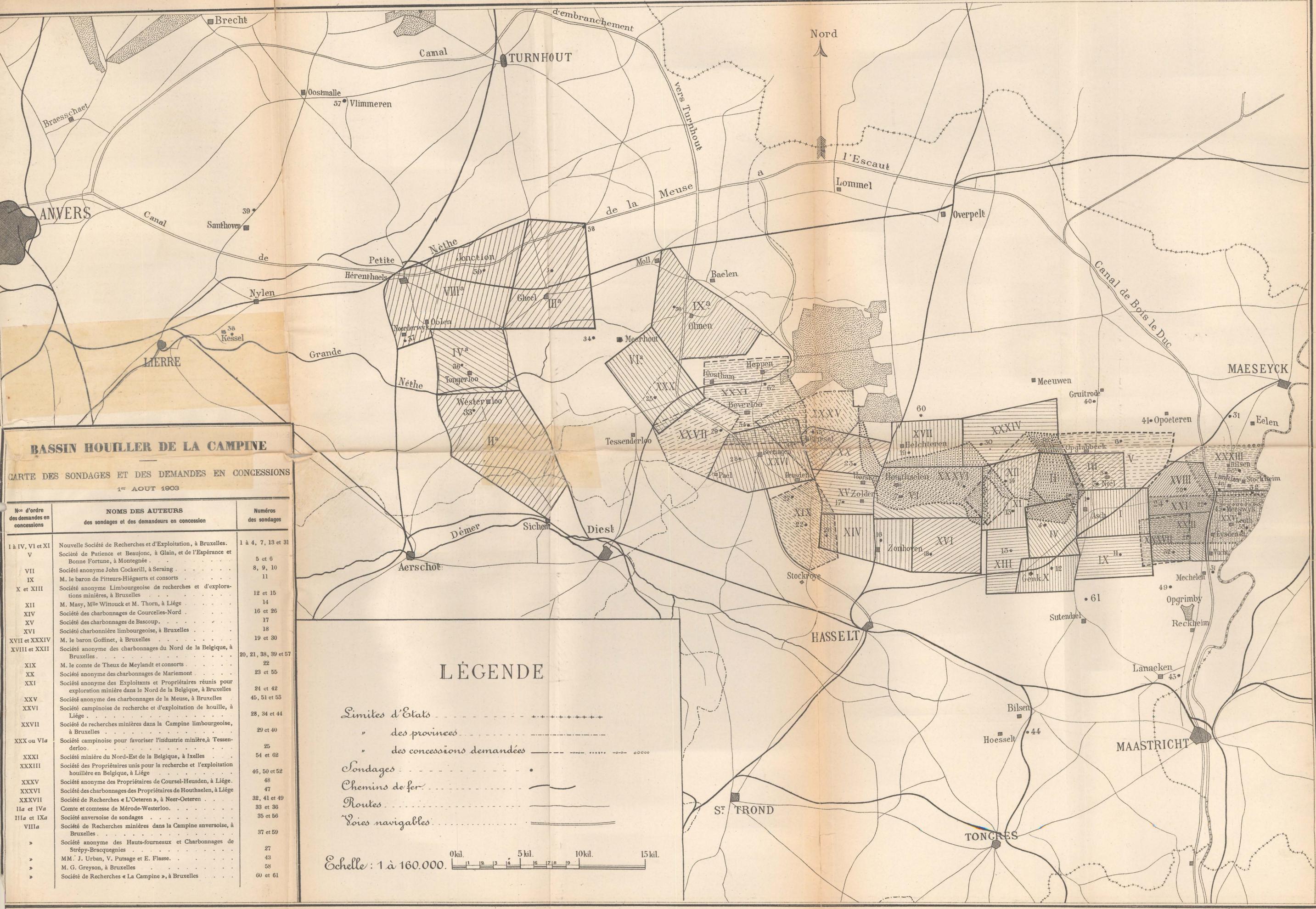
De la reconnaissance des terrains par sondage.

1. — Préliminaires	930
2. — De l'emploi du courant d'eau.	932
3. — Sondage à la tarière avec courant d'eau renversé	936
4. — Sondages par percussion	937
5. — Sondages par rodage	947
6. — Détermination de l'inclinaison et de la direction des strates.	961
7. — Reconnaissance des roches fluides	968
8. — Considérations finales	972

DEUXIÈME PARTIE

De la constatation des couches de houille.

1. — Préliminaires de la constatation	975
2. — Constatation à la couronne de diamant et à courant normal. — Opérations préparatoires. — Observations des variations de la vitesse de forage. — Examen des boues. — Examen des témoins. — Conclusions	976
3. — Constatation à courant renversé	996
4. — Elargisseurs	997
5. — Exemples.	1000



BASSIN HOULLER DE LA CAMPINE
CARTE DES SONDAGES ET DES DEMANDES EN CONCESSIONS
 1^{er} AOUT 1903

N ^{os} d'ordre des demandes en concessions	NOMS DES AUTEURS des sondages et des demandeurs en concession	Numéros des sondages
I à IV, VI et XI V	Nouvelle Société de Recherches et d'Exploitation, à Bruxelles. Société de Patience et Beaujonc, à Glain, et de l'Espérance et Bonne Fortune, à Montegnée.	1 à 4, 7, 13 et 31
VII	Société anonyme John Cockerill, à Seraing.	5 et 6
IX	M. le baron de Pitteurs-Hiégaerts et consorts	8, 9, 10
X et XIII	Société anonyme Limbourgeoise de recherches et d'explorations minières, à Bruxelles	11
XII	M. Masy, M ^{lle} Wittouck et M. Thorn, à Liège	12 et 15
XIV	Société des charbonnages de Courcelles-Nord	14
XV	Société des charbonnages de Bascoup.	16 et 26
XVI	Société charbonnière limbourgeoise, à Bruxelles	17
XVII et XXXIV	M. le baron Goffinet, à Bruxelles	18
XVIII et XXII	Société anonyme des charbonnages du Nord de la Belgique, à Bruxelles	19 et 30
XIX	M. le comte de Theux de Meylandt et consorts	20, 21, 33, 39 et 57
XX	Société anonyme des charbonnages de Mariemont	22
XXI	Société anonyme des Exploitants et Propriétaires réunis pour exploration minière dans le Nord de la Belgique, à Bruxelles	23 et 55
XXV	Société anonyme des charbonnages de la Meuse, à Bruxelles	24 et 42
XXVI	Société campinoise de recherche et d'exploitation de houille, à Liège	45, 51 et 53
XXVII	Société de recherches minières dans la Campine limbourgeoise, à Bruxelles	28, 34 et 44
XXX ou VIa	Société campinoise pour favoriser l'industrie minière, à Tessenderloo.	29 et 40
XXXI	Société minière du Nord-Est de la Belgique, à Ixelles	25
XXXIII	Société des Propriétaires unis pour la recherche et l'exploitation houillère en Belgique, à Liège	54 et 62
XXXV	Société anonyme des Propriétaires de Coursel-Heusden, à Liège	46, 50 et 52
XXXVI	Société des charbonnages des Propriétaires de Houthaelen, à Liège	48
XXXVII	Société de Recherches « L'Oeteren », à Neer-Oeteren	47
IIa et IVa	Comte et comtesse de Mérode-Westerloo.	32, 41 et 49
IIIa et IXa	Société anversoise de sondages	33 et 36
VIIIa	Société de Recherches minières dans la Campine anversoise, à Bruxelles	35 et 56
>	Société anonyme des Hauts-fourneaux et Charbonnages de Strépy-Bracquegnies	37 et 59
>	MM. J. Urban, V. Putsage et E. Flasse.	27
>	M. G. Greyson, à Bruxelles	43
>	Société de Recherches « La Campine », à Bruxelles	58
>		60 et 61

LÉGENDE

Limites d'Etats
 " des provinces
 " des concessions demandées
 Sondages
 Chemins de fer
 Routes
 Voies navigables

Echelle : 1 à 160.000.