

le haut prix des minerais hématites et conséquemment le prix élevé des fontes d'une faible teneur en phosphore et en autres impuretés, la question d'adapter les fours à acier au travail de la fonte basique devra être examinée, si l'industrie de l'acier en Ecosse veut conserver dans l'avenir la place qu'elle a occupée dans le passé.

Les Mines.

Levé des plans de mines. — Raccord du levé souterrain avec la surface par observation directe au moyen d'une lunette plongeante.

Dans notre première notice, nous avons signalé, parmi les moyens employés pour raccorder avec la surface un levé souterrain, celui consistant à viser du haut en bas du puits (ou de bas en haut) une direction déterminée par deux voyants que l'on écarte l'un de l'autre autant que le permet la section libre du puits unique dans lequel on opère.

Nous avons dit que ce procédé, envisagé avec faveur par les auteurs des deux communications que nous analysions, était extrêmement délicat. Les deux points sur lesquels repose l'établissement de la direction ne peuvent être, en effet, dans la grande généralité des cas, fort éloignés l'un de l'autre (1^m50 à 4 mètres) et l'on comprend combien, surtout dans un puits profond, comme il en est tant dans notre pays, il est difficile d'opérer avec une précision absolue.

Nous avons rapporté quelques observations formulées au Congrès à la suite des communications de MM. Thomson et Hoskold, et notamment celles présentées, en faveur du procédé à la boussole, par M. Dixon.

On ne peut nier que la boussole présente, à côté de ses inconvénients, des avantages inestimables, non seulement celui de la grande facilité d'emploi, mais aussi celui de ne pas multiplier les erreurs de direction.

Pour donner un exemple de la différence qui résulte de la méthode consistant à mesurer les angles plutôt que des azimuts, soit à faire au fond un levé de 2,000 mètres de longueur partant du puits; si l'on emploie le théodolite, une erreur d'angle de 1/4 de degré commise au point de départ aura pour conséquence, en supposant toutes les

autres mesures rigoureusement faites, un écart à l'extrémité du levé, de $2,000 \times \sin. 15' = 8^m80$; ce qui, si par exemple il s'agit d'un levé accompli très obliquement à la limite de deux concessions peut occasionner une erreur équivalant à presque toute l'épaisseur du massif d'espoite à laisser le long de la limite. S'il s'agit d'un travers-banes qui doit se raccorder à un autre en un point déterminé, une telle erreur peut avoir pour conséquence l'impossibilité d'une utilisation rationnelle de la galerie creusée.

Si l'on se sert de la boussole et qu'au point de départ ou en n'importe quel point du levé, on commette une erreur d'azimut quadruple, soit de 1° , en supposant que cette erreur, assez grossière, se porte sur un alignement de 100 mètres, ce qui est déjà beaucoup dans les levés ordinaires, la déviation qui en résulte n'est que de $100 \times \sin. 1^\circ = 1^m75$.

Si tout le reste du levé est correct, cette déviation persistera sans modification jusqu'à la fin de l'opération. Or, un écart de cette amplitude n'a, pour la plupart des opérations minières, pas une bien grande importance.

Certes les choses ne se passent pas tout-à-fait ainsi, et il n'arrive jamais qu'il n'y ait qu'une seule erreur commise, surtout avec la boussole, où la lecture se fait, malgré tout, d'une façon beaucoup moins précise qu'avec le théodolite.

Seulement, comme les erreurs peuvent être dans des sens divers, elles ont autant de chances de se corriger mutuellement que de se multiplier.

La conclusion est que l'emploi de la boussole, beaucoup plus commode d'ailleurs, présenterait, tout compte fait, plus d'avantages que tout autre système, si l'on avait la certitude que la direction indiquée par l'aiguille est bien la même à toute profondeur.

Les auteurs des *Traité de Topographie*, notamment M. A. Habets et M. A. Pelletan, signalent à ce propos des expériences très précises faites dans le district de Clausthal (Harz) et à Przibram (Bohême).

Mais si ces expériences ont démontré le parallélisme parfait des directions à la surface et en profondeur, si elles ont prouvé la simultanéité et l'identité d'amplitude des variations de la déclinaison, elles n'ont pas, que nous sachions, démontré la conformité en valeur absolue des azimuts au fond et à la surface.

Nous avons, dans notre premier article (1), signalé quelques faits

(1) *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, 4^me livraison, p. 897.

tendant à mettre en doute que cette conformité ait toujours lieu (1) et nous avons attiré l'attention sur cette déviation assez constante que l'on constate dans les plans de certains charbonnages exploitant, à plusieurs niveaux, des plateaux réguliers.

Il y a là un point qui demande à être élucidé. On pourrait le faire à la fois d'une façon indirecte et d'une façon directe, les deux méthodes se contrôlant et se complétant.

La méthode indirecte consisterait à relever, sur les plans et sur les registres d'avancement de plusieurs charbonnages, les déviations dont nous avons parlé et à constater à combien elle s'élève en moyenne pour une augmentation donnée de profondeur.

La méthode directe consisterait à déterminer, dans les travaux souterrains, à diverses profondeurs, des directions absolument exactes établies sans l'aide de la boussole, à placer ensuite sur ces directions une boussole bien vérifiée et à constater, si et de combien, à ces différents niveaux, la déclinaison diffère d'avec la déclinaison que l'on observerait en même temps à la surface, d'après une méridienne rigoureusement tracée sur le terrain ou d'après une direction faisant avec cette méridienne un angle connu.

La détermination à diverses profondeurs de directions précises et absolues s'obtient aisément quand on dispose de deux puits de mine assez éloignés l'un de l'autre et reliés entre eux à plusieurs niveaux par des galeries en ligne droite ou présentant peu de contournements.

Ces opérations sont faciles et exigent seulement d'être exécutées avec beaucoup de soin; elles exigent aussi le chômage momentané du puits, pour que l'on puisse opérer à l'aise et surtout écarter toute cause de déviation artificielle : rails, traverses, wagonnets, etc.

L'un de nous avait jadis entrepris ce travail dans un charbonnage du Couchant de Mons, qui, avec ses deux sièges d'extraction situés à 7 ou 800 mètres l'un de l'autre et reliés par des travers-bancs, convenait admirablement pour cette étude. Pour des causes indépendantes de sa volonté, il n'a pu le terminer et, comme on ne l'a pas repris, du moins à notre connaissance, l'incertitude continue à régner sur ce point.

Il semblait cependant déjà résulter de certaines des constatations

(1) Dans une note présentée en 1874, à la Société des Ingénieurs sortis de l'Ecole provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, M. F. CORNET, alors directeur des charbonnages du Levant-du-Flénu, soulevait diverses objections contre l'emploi de la boussole et signalait notamment la possibilité d'une différence de déclinaison au fond et à la surface.

faites qu'il existait une différence de déclinaison bien réelle entre le fond de la mine et la surface. Mais on ne peut rien conclure de sérieux d'un travail resté inachevé.

Il se peut d'ailleurs que le phénomène soit essentiellement variable d'un point à un autre et d'une époque à une autre et qu'un grand nombre de travaux de ce genre seraient à faire pour rechercher la loi de ces variations.

Il est à remarquer que les méridiens magnétiques ou plutôt les courbes d'égale déclinaison, dites aussi lignes *isogones*, ne coïncident nullement avec les méridiens géographiques et qu'elles sont loin d'avoir la régularité de ceux-ci. Elles présentent de nombreuses sinuosités et elles ne sont ni identiques l'une à l'autre, ni constantes d'une époque à l'autre. Pourquoi en serait-il autrement en profondeur et pourquoi ces courbes, en un point déterminé, se propageraient-elles à l'intérieur du globe en surfaces absolument et invariablement verticales ? Il semble au contraire qu'il doive arriver fréquemment qu'un point situé verticalement en-dessous d'un autre appartienne à une *isogone* différente.

Il peut aussi en être autrement, et il n'y aurait rien d'étonnant à ce que des expériences démontrassent ici une conformité parfaite, alors qu'ailleurs elles prouveraient un écart plus ou moins important. Il est tout naturel que de même que les lignes *isogones* présentent des parties sensiblement droites, la prolongation de ces lignes en profondeur se fasse aussi en certains points par des plans verticaux.

Quoi qu'il en soit et fût-il même démontré, contrairement à ce que nous pensons, que des causes locales soient seules à intervenir pour modifier en profondeur la déclinaison magnétique, il est maintes circonstances où l'on ne peut empêcher les causes locales d'agir, soit par suite de la présence du fer dans le revêtement des galeries, dans le dallage ou ailleurs, soit par suite de ce que les terrains eux-mêmes contiennent des éléments susceptibles d'influencer la boussole.

Il est des plus utile dès lors d'avoir à sa disposition des moyens de raccorder la surface avec le fond, qui soient tout-à-fait indépendants de l'emploi de la boussole.

Nous avons vu que lorsqu'on n'a à sa disposition qu'un seul puits, il n'existe guère que deux méthodes : l'une qui consiste à suspendre deux fils à plomb du haut en bas du puits, l'autre qui consiste à se servir d'un instrument (théodolite ou lunette méridienne) à lunette plongeante, permettant d'observer du haut en bas du puits deux points lumineux avec une précision telle que,

nonobstant le peu d'écartement de ces deux points, on puisse établir une direction avec une exactitude suffisante.

Le premier de ces procédés, celui des fils à plomb, étant bien connu dans notre pays, nous nous contenterons d'entrer dans quelques détails sur la seconde méthode, qui y est, croyons-nous, peu ou pas employée.

Ce procédé semble avoir été employé la première fois, en 1842, pour le creusement d'un tunnel, par l'Ingénieur Bourns.

Nous reviendrons plus loin sur la façon dont il a été appliqué.

La méthode a été appliquée au travail des mines par M. Beanlands qui l'a décrite dans une communication faite, en 1856, au *North of England Institute of mining Engineers*. M. Beanlands est parti de cette idée que, l'heure du passage des étoiles au méridien étant bien connue, on peut, si l'on observe quelques-unes de ces étoiles avec un télescope dont le plan de collimation est vertical mais orienté d'une façon quelconque, déterminer, par l'époque de leur passage dans le plan de la lunette, l'orientation de ce plan.

La chose étant vraie également si la lunette est placée au fond d'un puits de mine, on peut ainsi, par l'observation de quelques étoiles qui effectueraient leur passage dans le champ de ce grand tube vertical qu'est un puits de mine, arriver au résultat voulu.

On n'a pas tardé à constater d'abord qu'il convenait de remplacer les étoiles par deux signaux, aussi écartés que possible, établis sur les parois opposées de la margelle du puits, puis qu'il était préférable de renverser l'opération et de placer la lunette en haut du puits et les points de mire en bas.

L'opération est sommairement la suivante : Deux signaux bien éclairés et disposés de façon à ce qu'ils puissent servir de base à une direction dans les travaux, sont établis au fond du puits. Un théodolite, ou tout instrument à lunette plongeante permettant des observations verticales est installé à la surface, sur le puits même, qui est muni, pour la circonstance, d'un double plancher : l'un des planchers pour l'instrument, l'autre, tout à fait indépendant, pour l'observateur ; ceci afin d'éviter qu'aucun mouvement ne soit occasionné à l'appareil. (Il va de soi que l'opération doit se faire un jour de chômage.)

Les deux signaux lumineux étant successivement visés, soit qu'on les ait ramenés dans le plan de collimation de la lunette, soit qu'on ait au contraire agi sur celui-ci pour l'amener dans le plan vertical formé par les deux voyants (l'axe de rotation de la lunette doit

préalablement avoir été établi bien horizontal), on relève la lunette et l'on vise à la surface quelques jalons dont on marque à demeure la position. Cette direction, dont il suffit d'établir l'orientation par rapport à la méridienne, est la même que celle déterminée au fond par les deux signaux.

Si devant la lunette se trouvent des obstacles empêchant de tracer à la surface la même direction qu'au fond, on fait pivoter l'instrument sur son plateau horizontal et l'on prend une autre direction, dont on a soin de relever soigneusement l'angle formé avec la première.

Avant d'entrer dans le détail de la réalisation pratique de cette opération, disons quelques mots de l'exactitude qu'elle comporte.

Voici comment M. Thompson l'établit : Il se place dans l'hypothèse d'un puits de 300 mètres (nous remplaçons toutes les mesures anglaises usitées par l'auteur, par les mesures métriques) ; la distance maximum à laquelle les deux points lumineux du fond du puits peuvent être écartés est supposée de 1^m80. L'erreur maximum tolérée pour la direction de la ligne qui réunit ces deux points est de 1 minute.

Faisons remarquer que, dans notre pays, on devrait supposer un puits trois fois plus profond, la profondeur de 900 mètres étant maintenant très fréquente. Mais comme, en revanche, pour beaucoup d'opérations, une erreur maximum de 3 minutes serait bien admissible (elle donnerait lieu à une erreur de moins de 2 mètres pour un point du levé qui serait à 2000 mètres du point d'origine), on peut se baser à peu près sur les hypothèses de M. Thompson.

Avec deux signaux distancés de 1^m80, pour que l'erreur de direction ne soit pas de plus d'une minute, il faut que l'erreur maximum de détermination de chacune des extrémités soit de

$$\frac{1.80}{2} \times \sin. 1' = \text{environ } 1/3 \text{ mm.}$$

On peut à l'œil nu distinguer aisément un objet qui est vu sous un angle de 30 secondes ; mais, pour pouvoir distinguer nettement l'un de l'autre deux objets placés l'un près de l'autre à une distance égale à leur épaisseur, ils doivent être vus sous un angle de 1 minute.

Donc si le réticule de la lunette et le fil métallique qui servira de point de mire sont disposés de manière à être vus sous un angle de 1 minute, on pourra aisément déterminer quand ils seront superposés ou non.

Avec une lunette d'un pouvoir amplifiant de 90, le même fil métal-

lique serait vu sous un angle 90 fois plus petit, soit $7/10$ de seconde. Or, à une profondeur de 300 mètres, une distance vue sous un angle de $7/10$ de seconde est de 1 mm. environ.

Mais, fait observer M. Thompson, sous cet angle on peut distinguer aisément les progrès de la superposition des deux fils jusqu'à ce que les $2/3$ soient couverts; par conséquent la distance ci-dessus est réduite dans les mêmes proportions, ce qui nous amène à $1/3$ mm., c'est-à-dire au degré d'exactitude exigé.

On voit que l'emploi d'instruments bien appropriés, absolument précis et à grand pouvoir agrandissant est indispensable si l'on veut appliquer la méthode à grande profondeur.

Aux profondeurs de moins de 500 mètres, et en se contentant d'une approximation trois fois moindre que celle prévue, ce qui est, avon-nous vu, suffisant dans beaucoup de cas, l'opération est moins délicate.

Elle a d'ailleurs été employée fréquemment avec succès, déclarent les auteurs qui ont écrit sur la question, notamment MM. Liveing, Hoskold et Beanlands. Ce dernier, dans une deuxième note publiée en 1870 dans le vol. XX des *Transaction du North of England Institute of mining Engineers*, indique toute une série d'exemples où des opérations de levés souterrains raccordés à la surface par cette méthode, ont pleinement réussi.

Quant à la manière de procéder, elle varie suivant l'instrument dont on dispose.

Selon la méthode indiquée par M. Thompson, l'instrument étant installé sur le puits, on dirige la lunette vers le fond du puits successivement sur l'une ou l'autre paroi où l'on amène les signaux de manière à coïncider exactement avec le réticule du télescope. On s'arrange de telle sorte que l'axe de rotation de la lunette soit perpendiculaire ou à peu près à la galerie qui aboutit au puits au niveau considéré, de telle sorte que la direction relevée, qui est perpendiculaire à cet axe, puisse être prolongée aussi loin que possible dans la mine, où l'on a soin de la repérer définitivement en au moins trois points.

Cette manière d'opérer, qui oblige à déplacer les signaux pour les amener à coïncider avec le réticule d'une lunette établie à des centaines de mètres au dessus, ne paraît pas très commode à réaliser dans les puits profonds, avec la complète exactitude qu'exige la méthode.

C'est de cette façon cependant qu'ont été réalisées les premières applications de ce procédé; mais il s'agissait alors de puits larges et peu profonds.

Dans une notice intitulée *Principles and practice of Engineering and other Surveying*, M. Bourns décrit ainsi comment il a opéré lors de l'exécution du tunnel du Great-Western Railway :

Les puits atteignant parfois de grandes profondeurs, certains allant jusque 100 et 120 mètres, les fils à plomb ne pouvaient, dit-il, donner de bons résultats à cause des oscillations occasionnées par les courants d'air.

Les puits avaient 6 mètres de diamètre. Sur l'alignement commun de ces puits, on plaçait, sur un des bords du puits, en *A* (fig. 1), un instrument à lunette plongeante ; la lunette était d'abord bien placée dans la direction de l'alignement, puis elle était dirigée vers le bas où l'on déterminait un point *A'* ; on plaçait alors l'instrument en *B* sur le bord opposé du puits et on déterminait dans le tunnel un point *B'*.

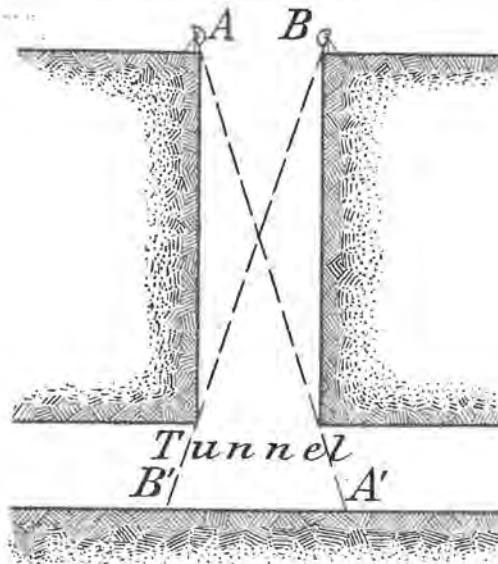


FIG. 1.

On obtenait de la sorte une direction que l'on repérait soigneusement. Les divers tronçons du tunnel ont ainsi pu être établis dans le prolongement l'un de l'autre.

Au tunnel de la Severn on a opéré de la manière suivante : Ce tunnel, qui passe sous l'estuaire de la Severn, a 2,000 mètres de longueur.

Il y eut tout d'abord un puits creusé de chaque côté du fleuve et des jalons furent plantés pour fixer la direction que devait avoir le tunnel.

Pour déterminer la direction souterrainement, on établit une puissante lunette plongeante sur chacun des puits. Cette lunette fut amenée exactement dans la direction des jalons de la rive opposée, après quoi elle fut dirigée vers le fond du puits où elle déterminait ainsi la direction sur une faible longueur, soit 4^m20, qui était le diamètre du puits.

Quand on eut eu creusé une certaine longueur du tunnel sur cette direction, on fixa à la paroi du puits opposée à la direction du creusement l'extrémité d'un mince fil métallique de 90 mètres de longueur que l'on tendit tout le long de la partie de galerie déjà creusée. Le fil était maintenu tendu au moyen d'un contrepoids attaché à son extrémité. Un système de vis adapté à cette extrémité permettait de faire déplacer le fil latéralement de façon à l'amener exactement dans la direction à suivre, c'est-à-dire, devant le fil vertical du réticule de la lunette.

La direction du tunnel fut ainsi vérifiée à diverses reprises.

L'opération réussit complètement: les deux tronçons du tunnel commencés à chaque extrémité se rejoignirent sans aucun écart sensible.

Nous avons dit que M. Beanlands semble être le premier qui ait appliqué cette méthode au travail des mines proprement dit.

M. Liveing a décrit, dans une notice parue en 1899, dans les *Transactions of the institution of Mining engineers*, volume XVIII, la manière d'opérer qu'il a adoptée et qui est le résultat d'une pratique de 22 ans.

M. Liveing se sert d'une lunette astronomique qu'il installe sur le puits de la façon déjà indiquée et qui est tout d'abord soigneusement réglée de manière à décrire un plan bien vertical.

Les dispositions sont prises pour que le réticule puisse être bien éclairé. Des vis micrométriques permettent un certain déplacement de l'axe de l'instrument.

Au fond du puits, deux traverses *A* et *B* (voir fig. 2, 3 et 4) sont clouées contre les guides de chaque côté du puits, vers 1 mètre à 1^m20 de hauteur, au-dessus du palier de l'acerochage, et sur ces traverses on installe horizontalement un madrier dont le milieu coïncide avec la verticale du centre de l'instrument. Sur ce madrier, à égale distance de son milieu et aussi écartées que le permet le diamètre du puits, sont établies deux boîtes représentées, en élévation et en coupe, fig. 3 et 4.

Ces boîtes portent : Une sorte de réticule *E* composé de deux fils de cuivre croisés dans un plan incliné à 45°, et un miroir *D*, incliné de même qui réfléchit vers le réticule les rayons lumineux d'une lampe que l'on place en dehors de la boîte devant la fenêtre *C*. Cette fenêtre

est faite en verre dépoli pour obtenir un éclairage plus uniforme du réticule.

Le madrier qui supporte les boîtes, est placé dans la direction de l'envoyage ou de la galerie qui aboutit au puits.

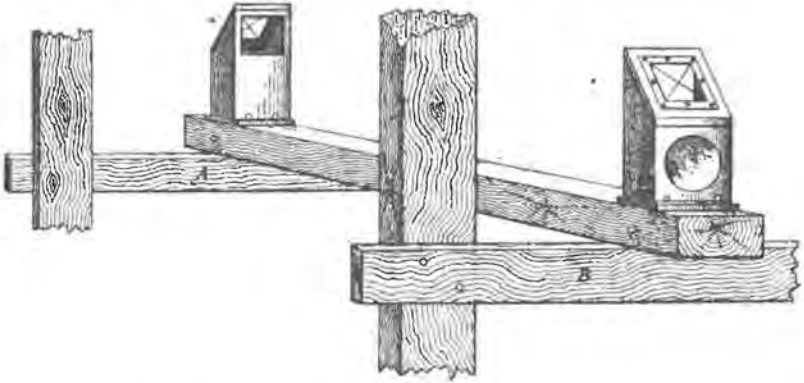


FIG. 2.

Tout étant en place, on installe un théodolite dans la dite galerie et on l'amène dans la direction exacte des deux réticules que l'on vise

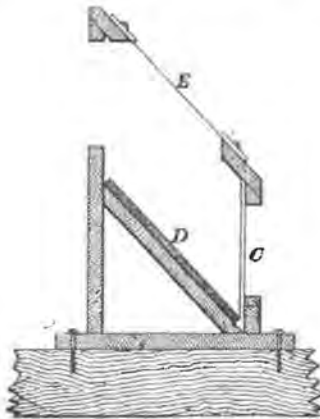


FIG. 3

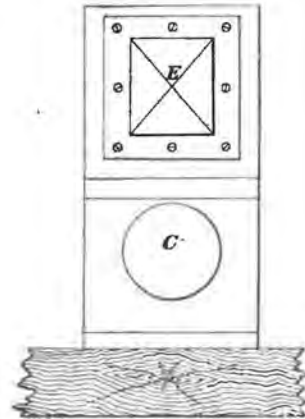


FIG. 4.

horizontalement; des vis de rappel doivent permettre le déplacement latéral du théodolite de façon à amener très exactement son réticule à coïncider avec ceux des deux boîtes.

La direction ainsi relevée est soigneusement repérée; c'est elle qui doit servir de point de départ au lever souterrain.

L'opérateur remonte alors à la surface et plongeant la lunette vers le fond du puits, il l'incline successivement vers chacune des parois du puits, de façon à viser les réticules des deux boîtes.

L'instrument a été préalablement établi, autant que possible, dans la direction des deux boîtes; la coïncidence exacte se fait au moyen de la vis latérale.

Les deux visées faites, on relève la lunette horizontale et l'on jalonne à la surface une direction qui est ainsi identique avec celle relevée au fond.

On peut aussi, lorsque les puits sont profonds, se servir, au lieu des fils croisés comme voyants, de deux petites lampes électriques avec filaments arqués.

Ces lampes sont fixées de telle sorte que leurs filaments incandescents sont dans le même plan vertical.

Les axes des lampes sont cependant inclinés à 45° de façon à ce qu'ils puissent être observés tant verticalement qu'horizontalement à travers la partie sphérique du globe.

Les lampes doivent être petites et les filaments, disposés bien au centre des globes, sans quoi il se produit des reflets et des réfractions qui gênent l'observation et peuvent occasionner des erreurs.

M. Liveing a utilisé ce dernier moyen pour des puits profonds et s'en est bien trouvé.

Pour le cas où l'axe de l'instrument ne serait pas absolument horizontal, le raccord peut encore se faire si l'on a la précaution de disposer les points de mire horizontalement et aussi de viser horizontalement à la surface. Ces deux horizontales situées dans le même plan, sont nécessairement parallèles, et la direction est obtenue la même à la surface qu'au fond; il y a seulement un certain déplacement dont on peut souvent tenir compte mais qui a, en tout cas, peu d'importance. Il va de soi cependant qu'il est toujours préférable d'opérer avec des instruments bien réglés.

M. Hoskold, qui a aussi une longue pratique du procédé, se sert, pour les visées, du théodolite, et il a à plusieurs reprises modifié cet instrument pour l'approprier à cette destination.

C'est un instrument de ce genre qu'il a présenté au Congrès de Glasgow.

Le principal caractère de cet instrument est que les axes verticaux sont creux, de façon à permettre la visée verticale tout en laissant la lunette au centre de l'instrument.

La lunette devant avoir une grande puissance grossissante et devant pouvoir pivoter autour de ses supports, des dispositions spéciales sont prises pour éviter de donner à ceux-ci une hauteur trop grande qui rendrait l'instrument peu maniable.

L'éclairage du réticule et des cercles gradués est spécialement soigné, eu égard à la destination de l'instrument qui doit permettre les levés souterrains, aussi bien que ceux de la surface.

M. Hoskold suggère une manière d'opérer qui est une combinaison de la méthode de M. Liveing et de celle du tunnel de la Severn, avec l'emploi du fil de fer tendu qui représente la direction de base pour le travail topographique du fond.

Il recommande aussi l'emploi de lampes électriques, dont les filaments incandescents doivent servir de points de mire susceptibles d'être visés à grande distance.

On peut d'ailleurs faire varier la manière d'opérer suivant les circonstances locales ou suivant la préférence de l'opérateur. Mais il doit être entendu que de tels travaux ne peuvent être confiés qu'à des personnes absolument exercées à l'emploi des instruments de précision; un travail à la boussole, même exécuté dans les plus mauvaises conditions sous le rapport des déviations magnétiques, vaudrait mieux qu'un travail du genre de ceux que nous avons décrits, si ce dernier n'était pas exécuté avec tous les soins et toutes les précautions minutieuses qui sont l'accompagnement obligé de ces sortes d'opérations.

Les ressources minérales de la province de Québec (Canada).

M. Obalski, inspecteur des mines, a donné les renseignements suivants sur la province de Québec.

Cette province, qui a deux fois autant d'étendue que les Iles britanniques réunies, couvre une surface de 347,000 milles carrés (environ 900,000 kilomètres carrés). Elle a une étendue de 2,700 kilomètres de l'Est à l'Ouest, et de 1,000 kilomètres environ du Nord au Sud.