

# Rattachement des canevas topographiques de la surface et du fond

L. J. PAUWEN,

Professeur à l'Université de Liège.

## SAMENVATTING

*De oriëntatie van de ondergrondse opmetingen ten opzichte van de bovengrond kan uitgevoerd worden door middel van talrijke werkwijzen.*

*De oudste, de opmeting met het kompas, is in staat een nauwkeurigheid te geven overeenkomend met een boog van 1 minuut, op voorwaarde rekening te houden met de magnetische declinatie en vooral van de onregelmatige variaties, die men gewoonlijk verwaarloost, maar die nochtans aanzienlijk kunnen zijn; hun waarde kan gegeven worden door een bestaande magnetische observatiepost.*

*De auteur onderzoekt vervolgens de methode der twee schachten, de methoden der twee schietloden in dezelfde schacht en een optische methode, waarvan de mogelijkheden onderzocht worden. Ten slotte haalt hij het bestaan aan van de gyroscopische methode.*

## RESUME

*Le problème de l'orientation des levés miniers peut être résolu par de nombreux procédés. Le plus ancien, le procédé à la boussole, est susceptible de donner une précision de l'ordre de une minute d'arc à la condition de tenir compte de toutes les variations de la déclinaison magnétique et spécialement des variations irrégulières que l'on néglige habituellement, mais qui peuvent cependant être importantes; leurs valeurs peuvent être fournies par une station magnétique existante. L'auteur passe ensuite en revue la méthode des deux puits, la méthode des deux aplombs dans un même puits et une méthode optique; il en montre les possibilités. Enfin, il signale l'existence de la méthode gyroscopique.*

Le problème du rattachement des canevas topographiques de la surface et du fond joue un rôle capital en topographie souterraine. L'orientation des plans de fond, et par voie de conséquence, le problème des limites, le percement des galeries par une ou par deux extrémités, le puits sous stot et combien d'autres problèmes en dépendent.

Il nous a paru utile de faire un exposé synthétique des différentes méthodes qui s'offrent à l'exploitant et d'en montrer les avantages, les inconvénients et les possibilités (1).

### Procédé à la boussole.

Le procédé à la boussole est le plus ancien. Bien employé, il est susceptible de donner une précision de l'ordre de 1 minute d'arc. Nous indiquerons ici

succinctement les précautions à prendre pour atteindre ce résultat.

Il est bien évident que la boussole doit être en parfait état mécanique et magnétique. Avant toute mesure, on vérifiera la chape d'agate et le pivot; on s'assurera que la boussole est exempte de toute pièce ferreuse. On emploiera de préférence des boussoles qui s'adaptent sur le théodolite. Ce dernier permet un centrage précis et l'erreur d'excentricité de la boussole par rapport au théodolite sera éliminée par retournement symétrique. Les erreurs instrumentales de la boussole seront éliminées par les lectures pointe nord et pointe sud dans les deux positions symétriques de l'instrument. Les déformations du champ magnétique terrestre seront spécialement étudiées; on les éliminera ou on en tiendra compte.

Ces erreurs sont dues à plusieurs causes :

- a) à la présence de masses de fer ou de roches magnétiques ou de conducteurs électriques;
- b) à des variations régulières du champ magnétique;

(1) Pour les lecteurs qui désirent de plus amples informations nous renvoyons au « Cours de Topographie » de M. Dehali, pages 454-555, édité par Béranget, 1947.

c) aux variations irrégulières du champ magnétique.

Nous examinerons successivement chacun de ces points.

a) *Masses de fer ou roches magnétiques.*

L'orientation de la base, c'est-à-dire d'un des côtés du cheminement, se fera en occupant successivement, avec la même boussole, les deux sommets qui déterminent ce côté. L'azimut direct et l'azimut inverse doivent différer de  $180^\circ$  à peu de chose près. Il conviendra d'exécuter l'ensemble des deux opérations dans le temps le plus court possible afin que le champ magnétique terrestre ne se transforme pas sensiblement pendant le cours des mesures.

Si l'azimut direct et l'azimut inverse ne diffèrent pas de plus de 5 minutes d'arc, on pourra déclarer qu'il n'y a pas d'influence magnétique. Si l'on constate un écart supérieur à ce chiffre, et s'il se maintient dans de nouvelles mesures, on pourra déclarer qu'il y a influence. On la recherchera et l'éliminera. Sinon, la base en question sera abandonnée.

b) *Variations régulières de la déclinaison magnétique.*

Le champ magnétique terrestre est soumis à des variations lentes et régulières, dont on peut aisément tenir compte en déterminant la déclinaison magnétique de la boussole employée, sur une borne d'orientation.

c) *Variations irrégulières de la déclinaison magnétique.*

La déclinaison magnétique est soumise à des variations irrégulières qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de minutes d'arc en une heure. Si l'on veut effectuer une orientation de précision, il faut tenir compte de ces variations. Pour cela, on introduira dans le calcul les variations de la déclinaison magnétique fournies par une station où l'on enregistre cet élément de façon continue. En Belgique, on pourra se servir des éléments fournis par la station magnétique de Manhay qui dépend de l'Université de Liège.

Le matin avant de descendre vers les travaux de fond, et l'après-midi à la remontée, on centrera le théodolite sur la borne d'orientation et l'on déterminera la déclinaison de la boussole en notant l'heure des observations. Tenant compte des données de Manhay, ces mesures permettront de déterminer à tout moment la valeur exacte de la déclinaison de la boussole et aussi de vérifier si celle-ci n'a pas subi de déformations mécaniques pendant les opérations de mesure et de transport.

Si l'on désire une grande précision, de l'ordre de la minute, il est nécessaire d'employer trois boussoles au moins qui se contrôlent l'une l'autre et de stationner en deux bases d'orientation, reliées par un cheminement de précision au théodolite. Enfin, il faut opérer en chaque base à deux reprises, à des jours différents. L'ensemble des mesures permettra d'atteindre une précision de 1 minute d'arc, ce qui est suffisant pour les travaux miniers les plus importants.

Nous avons tracé une galerie de 2 kilomètres de longueur à l'étage 1.050 m par ce procédé. Le percement a été effectué à 30 cm près, ce qui correspond à une précision de 30 secondes d'arc sexagésimales. Si nous n'avions pas introduit la correction mentionnée en c), l'erreur d'orientation aurait été de 7 minutes d'arc.

**Méthode des deux puits.**

Considérons deux puits entre lesquels existe une galerie praticable à l'étage où l'on veut effectuer une orientation.

On suspend un fil à plomb dans chacun des puits. Ils sont constitués par des fils de bronze de 1,5 mm de diamètre environ, auxquels on suspend des poids de l'ordre de 15 kg que l'on immerge complètement dans des récipients remplis d'eau ou d'huile. Les fils sont fixés solidement aux chevalements des puits. A la surface, on effectue un cheminement très précis (1 - 2 - 3) (Fig. 1) reliant

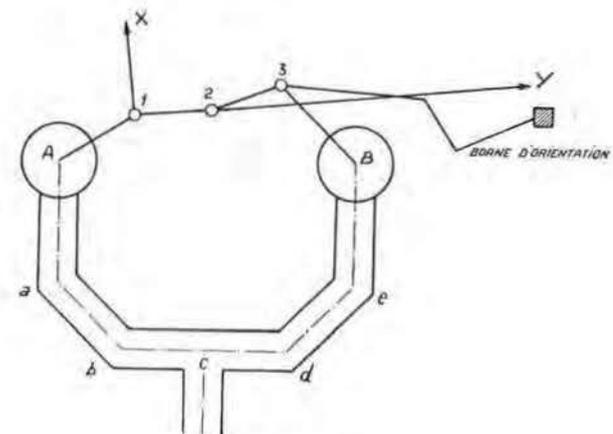


Fig. 1.

les deux aplombs A et B. Ce cheminement est rattaché à la borne d'orientation. On dispose ainsi des éléments qui permettront le calcul des azimuts des différents côtés du cheminement. Choissant une origine, par exemple le point 1 et un système d'axes rectangulaire XY, on calcule les coordonnées des deux aplombs AB à la surface. Si ces aplombs pendent librement dans le puits, les coordonnées sont les mêmes dans le fond, à l'étage où doivent s'effectuer les opérations d'orientation.

A cet étage, on établit un cheminement A-a-b-c-d-e-B qui relie les aplombs. On se donne l'azimut approché d'un des côtés du cheminement, *a b* par exemple. Partant des coordonnées de A, calculées en se fondant sur le levé effectué à la surface et de l'azimut approché de *a b*, par exemple, on calcule les coordonnées de l'aplomb B.

Si nous désignons par  $X_A Y_A$  les coordonnées fond et surface de l'aplomb A et par  $X_B Y_B$  et  $x_B y_B$  les coordonnées surface et fond de B, obtenues respectivement par les opérations de surface et de fond, les azimuts de la direction AB surface et fond seront donnés par les formules :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_A - Y_B}{X_A - X_B}$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{Y_A - y_B}{X_A - x_B}$$

La différence  $\alpha - \alpha'$  donne la correction qu'il faut apporter à l'azimut approché de départ du côté  $a b$ .

La précision de cette méthode dépend, d'une part, de la précision des cheminements de surface et de fond et, d'autre part, de la verticalité des aplombs. La précision des cheminements est fonction exclusivement de l'observateur et des moyens qu'il met en œuvre. La verticalité des aplombs est influencée par les courants d'air latéraux qui peuvent exister dans les puits. On bouchera avec soin l'orifice de toutes les galeries aboutissant aux puits. Si, malgré tout, les aplombs ne sont pas verticaux, il en résultera une erreur d'orientation dont l'effet sera d'autant plus petit que les puits seront plus éloignés l'un de l'autre. Si les puits sont distants de plus de 50 mètres, la méthode pourra être appliquée aux plus grandes profondeurs, pourvu que l'on prenne les précautions indiquées plus haut.

#### Rattachement par un seul puits.

Il arrive souvent que la méthode des deux puits ne puisse pas être employée, soit parce que l'on veut faire l'orientation à un étage qui n'est pas encore atteint par un puits, soit qu'il n'existe pas de communication praticable entre les puits à l'étage considéré, soit encore parce que les deux puits sont trop rapprochés. Dans ces conditions, on doit recourir à la méthode des deux aplombs dans le même puits, aplombs qui déterminent un plan. Par des opérations topographiques, on détermine l'azimut du plan des aplombs à la surface; à l'étage considéré, on rattache un cheminement au plan des aplombs d'azimut connu.

Ces opérations, très simples en principe, nécessitent des mesures extrêmement méticuleuses. La distance à laquelle on peut placer les aplombs étant en général très réduite — dans la plupart de nos puits de mines cet écartement ne dépasse pas 1,50 m — la moindre déviation systématique des aplombs par rapport à la verticale amène une rotation de leur plan et ainsi une erreur systématique dans l'orientation. Une déviation systématique de 1 mm d'un des aplombs amène, pour des aplombs distants de 1,50 m, une erreur d'orientation de 2'10" environ. Il faudra prendre des précautions minutieuses pour éviter cette déviation.

Les fils seront tendus par des poids de 15 kg au moins, munis d'ailettes et complètement immergés dans des baquets remplis d'eau ou d'huile, établis un peu en contrebas de la galerie où se fait le raccordement. Ils seront recouverts par des planches pour éviter l'agitation du liquide produite par la chute d'eau ou de corps durs dans le puits. Toutes les galeries débouchant dans le puits, au droit des aplombs, seront obturées avec soin. On arrêtera le ventilateur. On vérifiera que les aplombs ne touchent nulle part les parois des puits tout le long

de leur parcours, ni le fond ou les parois des baquets.

Dans ces conditions, les fils oscillent autour d'une position moyenne qui correspond à la verticale des points d'attache et les oscillations seront faibles et régulières.

Les opérations de raccordement pourront être effectuées, soit par la méthode de l'alignement, soit par la méthode du triangle.

#### a) Méthode de l'alignement.

On dispose le théodolite à la surface et à l'étage considéré, dans l'alignement exact des deux fils. Cette opération s'effectue en déplaçant le théodolite sur sa plateforme de centrage jusqu'à ce que les images des deux fils des aplombs se forment exactement sur le fil vertical du réticule. Cette opération est possible car un fil ne cache pas l'autre, pourvu que la distance du théodolite à l'aplomb le plus proche ne soit pas grande par rapport à la distance des aplombs entre eux. On voit en effet, d'après la figure 2, que seuls les rayons lumineux émis par A (Fig. 2) compris dans le cône DCE sont inter-

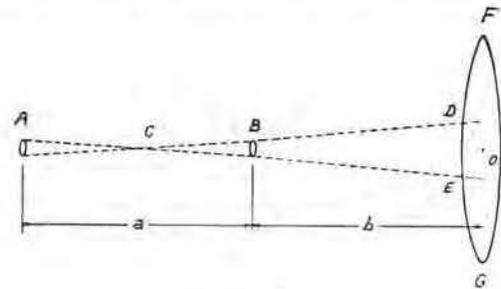


Fig. 2.

ceptés par le fil B. Les rayons qui tombent sur les régions FD et EG sont recueillis par l'objectif qui forme une image de A. Nous montrerons plus loin que la distance  $b$  doit être de l'ordre de  $a$ . Le théodolite employé possèdera une lunette à fort tirage, ce qui est le cas des théodolites de mine.

Dans ces conditions, on amène le théodolite dans l'alignement des aplombs à la surface et à l'étage de travail et l'on raccorde ces opérations aux levés de surface et de fond.

S'il est relativement aisé d'amener le théodolite dans le plan des aplombs à la surface, il n'en est pas de même dans le fond. A la surface, les fils sont visés un peu en dessous des points de fixation au chevalement; ils sont stables et l'opération d'alignement se fait rapidement et sans difficultés. Dans le fond, les aplombs sont rarement immobiles; ils constituent en effet de longs pendules qui oscillent sous l'action des influences les plus minimes. En outre, leurs oscillations sont très lentes. Il est donc extrêmement difficile, sinon impossible, de placer le théodolite exactement dans le plan des aplombs. Cette opération s'effectue cependant aisément à quelques dixièmes de millimètre près. Le problème est ensuite résolu par la méthode du triangle aplati.

#### b) Méthode du triangle aplati.

Soit A et B les deux aplombs et le théodolite situé en T, dans l'alignement approché des deux aplombs

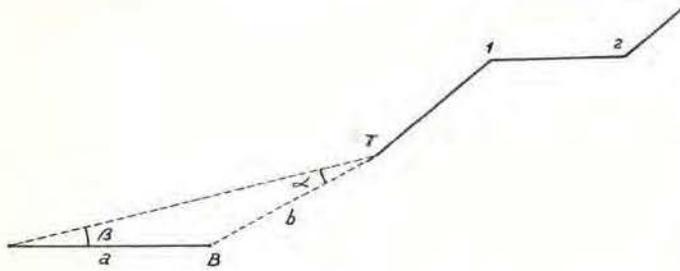


Fig. 5.

(Fig. 5). On vise successivement les deux aplombs et l'on mesure l'angle  $\alpha$ . Cette mesure doit être répétée à de nombreuses reprises afin d'éliminer l'effet des irrégularités des oscillations. La figure donne, puisque les angles sont petits :

$$\frac{\beta}{b} = \frac{\alpha}{a}$$

d'où 
$$\beta = \alpha \cdot \frac{b}{a} \quad (1)$$

Les opérations de surface donnent l'azimut 1 — 2; la mesure des distances  $a$  et  $b$  de l'angle  $\alpha$  et l'emploi de la formule (1) permettent de calculer l'angle  $\beta$ , d'où l'on déduit l'azimut de T — 1, puis de 1 — 2.

*Meilleures conditions opératoires.*

La formule (1) permet de déterminer les meilleures conditions opératoires. Désignons le rapport  $b/a$  par  $r$ , on obtient :

$$\Delta \beta = r \cdot \Delta \alpha + \alpha \cdot \Delta r.$$

On voit que pour rendre  $\Delta \beta$  le plus petit possible, il faut que  $r$  et  $\alpha$  soient aussi petits que possible.

Pour que  $r$  soit petit, il faut que le théodolite soit placé dans le voisinage de l'aplomb  $\beta$ . Pour des raisons d'ordre pratique, on pourra prendre  $b$  égal à  $a$ , mais on ne pourra pas aller au delà. L'angle  $\alpha$  devra être le plus petit possible; on situera donc le théodolite dans le voisinage très approché de l'alignement des aplombs.

Si l'on prend toutes les précautions qui ont été indiquées plus haut, cette méthode est susceptible de donner une précision de l'ordre d'une dizaine de secondes d'arc sexagésimales pour des aplombs situés à 1,5 m de distance et dont la longueur ne dépasse pas 300 mètres. La précision diminue très rapidement avec la longueur des aplombs et le procédé devient incertain.

**Méthode optique.**

Nous avons imaginé et employé avec succès une méthode optique qui consiste en principe à déterminer à la surface une direction parallèle à celle de deux signaux lumineux établis dans le puits au niveau de l'étage à raccorder, à l'aide d'une lunette installée au-dessus du puits. Une faible inclinaison

de l'axe de rotation de la lunette est sans influence, puisqu'elle ne modifie pas le parallélisme des deux directions du fond et de la surface.

a) *Dispositif opératoire.*

Dans le puits, au niveau de l'étage à raccorder et dans la direction d'une galerie, on installe deux signaux lumineux constitués par deux lampes à sphères de tungstène de 2 mm de diamètre. Chaque lampe est fixée dans une monture étanche à l'eau, dont la face supérieure est constituée par une glace à faces parallèles inclinée sur l'horizon pour permettre, d'une part, l'évacuation de l'eau et, d'autre part, des visées à partir d'un théodolite situé dans la galerie. Ces deux montures sont fixées solidement sur une forte poutrelle en fer, installée en travers du puits, et placées à l'écartement maximum. Dans nos anciens bassins, on peut difficilement dépasser 1,5 m.

L'appareil de mesure est constitué par une embase à trois vis calantes, à laquelle sont fixés deux montants terminés par des coussinets qui reçoivent les tourillons d'une lunette munie d'un cercle vertical et d'un niveau d'alidade. L'embase est percée d'une ouverture circulaire qui permet des visées nadirales. La précision de la méthode est évidemment proportionnelle à la distance focale de la lunette. En vue d'obtenir une distance focale considérable, on a employé un objectif  $O_1$  de 50 cm (Figure 4) de distance focale, auquel on a adjoint un objectif de microscope  $O_2$  grossissant 10 fois. On obtient ainsi un dispositif optique correspondant à

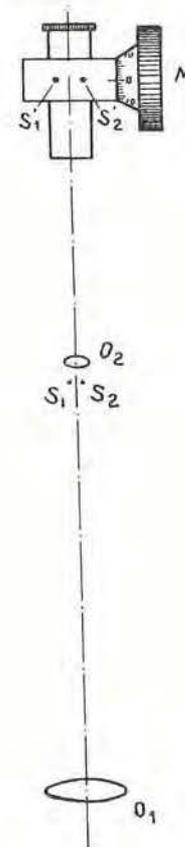


Fig. 4.

une lunette de 5 mètres de distance focale; les images obtenues sont encore de bonne qualité et l'on peut les pointer avec précision. L'oculaire de la lunette est remplacé par un micromètre focal permettant d'estimer 0,001 mm. Un niveau cavalier de précision assure l'horizontalité de l'axe secondaire à quelques secondes d'arc près.

#### b) Mode opératoire.

Le dispositif employé ne permet pas d'amener le plan décrit par la lunette en coïncidence avec le plan vertical passant par les signaux; si cette opération était possible, elle ne pourrait se faire avec précision. On préfère installer l'appareil de façon que les deux plans considérés soient à peu près parallèles et mesurer le petit angle qu'ils font entre eux.

Soit  $S_1 S_2$  (Fig. 5), les images des deux signaux lumineux projetés verticalement dans le plan horizontal passant par  $S$  et  $L$  la projection sur le même plan, de l'intersection de l'axe secondaire et du plan décrit par le centre optique de l'objectif quand la lunette pivote autour de cet axe. Soit  $S_0$  la projection sur le même plan, d'un signal établi à la surface. Soit  $P_1 P_2$  l'intersection avec le même plan du plan décrit par la lunette lorsqu'elle pivote autour de l'axe secondaire.

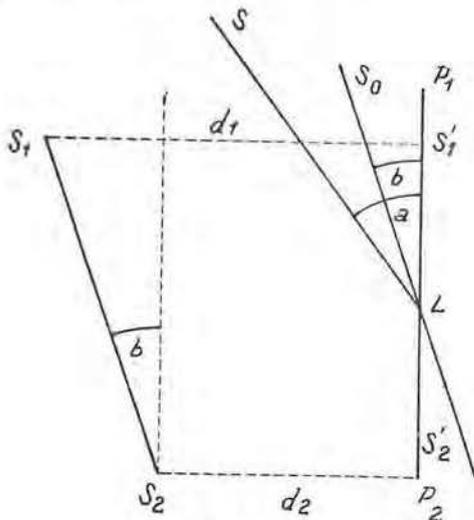


Fig. 5.

En pointant au moyen du micromètre successivement les deux images  $S_1$  et  $S_2$ , on obtient par différence des lectures la quantité  $d_1 - d_2$ . Connaissant la valeur angulaire d'une division du micromètre correspondant à la distance entre les signaux et la lunette, on pourra calculer l'angle  $b$ . L'angle  $a$  s'obtiendra par des pointés micrométriques sur le signal  $S$ . D'où l'on déduit l'angle  $a - b$ . En réalité cet angle est obtenu en faisant des lectures dans deux positions symétriques de la lunette et en combinant les lectures.

Connaissant l'azimut de la direction  $SL$ , on en déduit l'azimut de  $S_0L$ , c'est-à-dire de  $S_1 S_2$ .

A l'étage considéré, on raccorde les opérations du fond à la direction  $S_1 S_2$  par la méthode de l'alignement, comme il a été exposé à propos du procédé des deux aplombs dans un même puits. Le calcul des angles  $a$  et  $b$  exige la connaissance de la valeur

angulaire d'une division du micromètre focal correspondant aux visées sur les signaux  $S_1 S_2$  et  $S$ . Comme ces distances ne sont en général pas égales, il importe de déterminer la valeur angulaire d'une division du tambour du micromètre pour les tirages de la lunette correspondant aux mises au point des signaux du fond et de la surface.

L'opération à la surface est très simple. Au-dessus de la station, on installe perpendiculairement à la direction  $LS$  une règle sur laquelle on fixe verticalement deux clous à deux mètres de distance environ. Soit  $d$  leur distance exacte et  $D$  la distance du foyer antérieur de la lunette au signal  $S$ . On a :

$$\frac{d}{2} = D \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$\alpha$  représentant l'angle sous lequel la règle est vue à partir du foyer antérieur de la lunette. On en tire :

$$(\alpha)'' = \frac{d}{D \sin 1''}$$

et si  $l$  représente le nombre de divisions du micromètre correspondant aux pointés sur les deux clous, on obtient :

$$1 \text{ division de micromètre} = \frac{(\alpha)''}{l}$$

La détermination de la valeur angulaire d'une division de micromètre correspondant aux signaux  $S_1$  et  $S_2$  se fait en utilisant comme repères les signaux eux-mêmes et en tournant le micromètre de  $90^\circ$  dans sa monture. Connaissant la distance  $S_1 S_2$ , la hauteur  $H$  du foyer antérieur de l'objectif au-dessus des signaux  $S_1 S_2$  et le nombre de divisions du micromètre correspondant aux pointés sur les signaux du fond, on calcule la valeur angulaire comme plus haut.

Remarquons que si l'on a disposé l'instrument de mesure à la surface de façon que l'angle  $b$  ne dépasse pas  $10'$ , il suffira de connaître  $H$  à un mètre près.

L'expérience montre que ce procédé donne une précision de l'ordre de  $\pm 5''$  sur des signaux situés à 1,50 m de distance à 500 m de profondeur. C'est une précision comparable à celle que fournit la méthode des deux aplombs dans un même puits. L'avantage du procédé optique est d'être à l'abri des erreurs des déviations systématiques des aplombs.

Nous estimons que les percements importants doivent être fondés sur les résultats fournis par la méthode des aplombs et la méthode optique. Ces deux méthodes étant fondées sur des principes totalement différents, on pourra faire confiance à des résultats concordants.

#### Calcul des coordonnées de $S_1$ et de $S_2$ .

Les opérations de surface ont permis de déterminer les coordonnées de  $L$  et l'azimut de  $S_1 S_2$ . Il s'agit de calculer les coordonnées de  $S_1$  et  $S_2$ .

On tourne le micromètre de  $90^\circ$  et l'on pointe successivement les signaux  $S_1$  et  $S_2$  (Fig. 6), cercle à gauche et cercle à droite avec calage du niveau d'alidade après chaque pointé. On obtient ainsi les distances zénithales des signaux, d'où les angles  $Z_1$  et  $Z_2$  et les distances  $S_1'L$  et  $LS_2'$ .

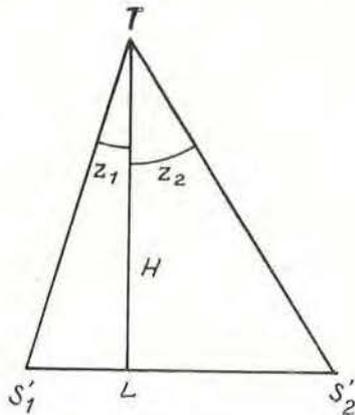


Fig. 6.

Des valeurs de  $S_1'L$ ,  $S_2'L$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ , de la hauteur  $H$  et de la valeur angulaire d'une division de micromètre, on déduit les coordonnées de  $S_1$  et  $S_2$ .

La précision de ces déterminations dépend, en majeure partie, de l'horizontalité de l'axe de rotation de la lunette, qui sera nivelé au moyen d'une nivelle de grande sensibilité.

**Méthode gyroscopique.**

Une méthode nouvelle d'orientation des levés de fond consiste à employer le gyroscope comme « chercheur de méridien ». L'idée d'employer le gyros-

cope comme appareil permettant d'orienter les levés de fond n'est pas nouvelle. Dès 1914, des essais furent effectués, puis repris en 1917 et en 1936 en Allemagne. Malheureusement, la précision obtenue était de l'ordre de 10 minutes d'arc, ce qui est insuffisant. La méthode a été reprise en 1947, dans la Ruhr, sous la direction du Professeur Rellensman en se servant de gyroscopes extrêmement sensibles et, d'après l'auteur, la précision obtenue à la surface et dans le fond est de l'ordre de 1 minute d'arc, précision largement suffisante pour l'orientation des plans de mines et la résolution de la plupart des problèmes que pose l'exploitation minière. Le gyroscope est employé comme « chercheur de méridien », c'est-à-dire que, dans des conditions bien déterminées, l'axe du gyroscope oscille de part et d'autre du plan du méridien, ainsi que l'avait déjà montré Foucault (2).

Si la vitesse de rotation du gyroscope est grande par rapport à la vitesse de rotation de la terre, et si son axe est obligé de rester dans un plan horizontal, ce dernier oscille autour du plan du méridien. Si l'on amortit ce mouvement, l'amplitude des oscillations décroît et l'on peut effectuer de nombreuses mesures en peu de temps.

Des mesures effectuées en Allemagne, aussi bien à la surface que dans le fond, ont permis d'atteindre une précision de  $\pm 1$  minute d'arc. Il semble bien que l'outillage soit très compliqué et que les mesures à effectuer soient délicates. Ce procédé mérite cependant d'être suivi de près car sa précision est pratiquement indépendante de la profondeur à laquelle il est employé.

(2) Léon Foucault. — « Sur une nouvelle démonstration expérimentale du mouvement de la terre fondée sur la fixité du plan de rotation ». - Comptes rendus, Paris, 1852, tome XXXV, p. 421.