

*Nous offrons . . .*

aux propriétaires d'appareils à vapeur, d'étudier tous problèmes se rapportant à la combustion de tous les charbons et à la récupération des chaleurs perdues.

Le matériel WANSON : Economiseurs, Réchauffeurs d'air, etc., vous assurera, dans chaque cas, la solution idéale.

Demandez-nous  
notre notice

**30 ANS D'EXPERIENCE**

Nombreuses références.

ETABLISSEMENTS

**Wanson**

CONSTRUCTION DE MATERIEL THERMIQUE . S. A.

222, RUE ROYALE • BRUXELLES • TÉLÉPHONE : 17.80.34

Fr. Delamare, 51, r. de Florence, Brux.

## NOTES DIVERSES

### Sur une méthode optique pour l'orientation des travaux souterrains et son application au creusement d'une galerie de mine de 1.500 mètres

par L.-J. PAUWEN,

Professeur à l'Université de Liège.

#### INTRODUCTION

La méthode des aplombs permet le rattachement d'un levé de surface à un levé souterrain. Lorsqu'on ne dispose que d'un seul puits vertical, elle consiste à faire usage de deux fils à plomb, les plus distants possible et fortement tendus par deux poids que l'on fait baigner dans un liquide en vue d'amortir les oscillations. Ce procédé, bien appliqué, donne d'excellents résultats, mais les mesures peuvent être affectées d'une erreur systématique provenant d'une déviation du plan des aplombs sous l'action constante des courants d'air passant des galeries vers le puits ou inversement. Pour les travaux importants, il nous paraît recommandable d'employer concurremment deux méthodes basées sur des principes différents : la méthode des aplombs d'une part, une méthode optique d'autre part. Leur contrôle mutuel donnera une sécurité qui compensera largement le supplément de travail.

Nous avons été chargé de la direction des travaux topographiques à exécuter en vue du creusement, par les deux extrémités, d'une galerie souterraine à grande section, à établir entre deux puits distants de 1.500 mètres environ. Etant donné l'importance du travail, nous décidâmes de résoudre le problème et par la méthode des aplombs et par une méthode opti-

que. Nous exposerons tout d'abord la méthode optique en elle-même, puis nous décrirons les opérations topographiques réalisées en vue d'assurer une jonction convenable des deux tronçons de galerie; enfin nous donnerons les résultats atteints.

## I. — LA METHODE OPTIQUE

### A. — Principe de la méthode.

Considérons deux signaux lumineux  $S_1$  et  $S_2$  (fig. 1) disposés au fond d'un puits de mine et un appareil de visée situé au niveau de l'orifice supérieur de celui-ci, l'appareil de visée étant constitué par une lunette décrivant un plan vertical par pivotement autour d'un axe de rotation horizontal.

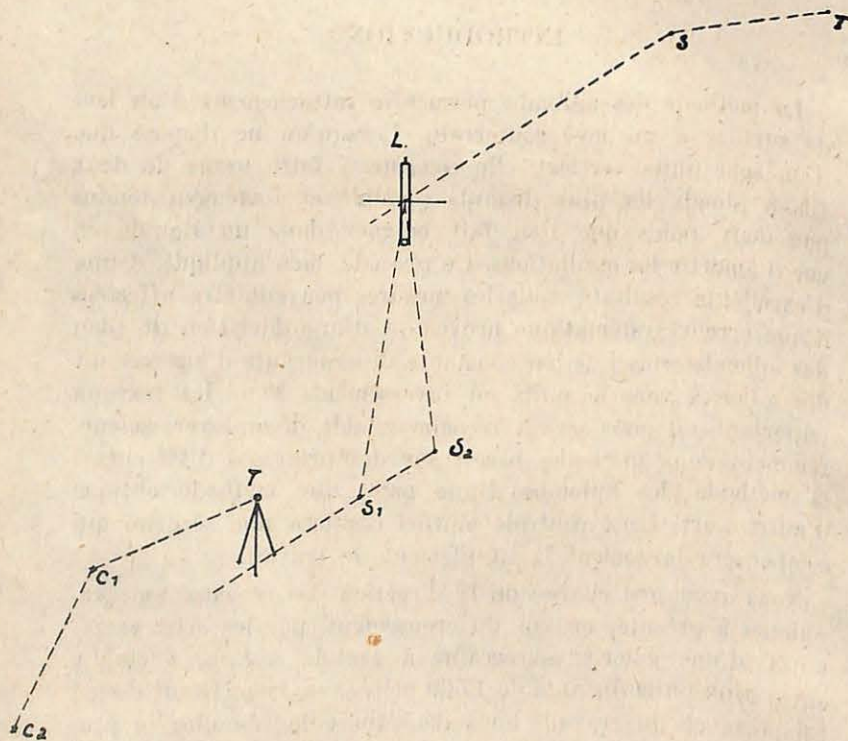


Figure 1.

Supposons que ce plan passe par les signaux lumineux. A la surface, disposons un signal  $S$  dans le plan de visée de la lunette et, dans le fond, installons un théodolite dans l'alignement des deux signaux  $S_1$  et  $S_2$ . Le raccordement des opérations de surface et de fond se fera comme suit :

Supposons que  $S$  soit un des sommets de la triangulation fondamentale ou un point qui s'y raccorde aisément. Stationnant en ce point et visant des points de la triangulation ainsi que le centre  $L$  de la lunette située au-dessus du puits, on raccordera la direction  $S-L$  à la triangulation. Au moyen de cette lunette, on visera le signal  $S$  et les deux signaux  $S_1$  et  $S_2$ . Dans le fond, on visera les deux signaux  $S$  au moyen du théodolite  $T$  situé dans leur alignement approximatif ainsi qu'un premier sommet  $C_1$  du cheminement. Installant un théodolite en  $C_1$ , on visera le point  $I$  et le sommet  $C_2$ . Le raccordement sera ainsi réalisé. Cette méthode, en principe très simple, présente en pratique des difficultés considérables et réclame des instruments précis.

Remarquons tout d'abord qu'il est pratiquement impossible de placer la lunette de visée dans le plan vertical passant par les deux signaux lumineux. Afin d'obvier à cette difficulté, nous avons eu recours à une lunette munie d'un oculaire à micromètre focal. On installe la lunette de visée le plus près possible du plan vertical passant par les signaux lumineux et l'on mesure le défaut de placement par des pointés micrométriques. Enfin, la précision des pointés des signaux étant directement proportionnelle à la longueur de la lunette, on a employé une lunette de 48 cms. de distance focale.

### B. — Théorie de la méthode.

Supposons horizontal l'axe secondaire de l'appareil de visée  $L$ . Remarquons qu'une faible inclinaison de l'axe de rotation de la lunette est ici sans importance, puisque la direction de la lunette rendue horizontale pour le pointé du signal de surface se trouve ainsi dans une position parallèle à la droite joignant les signaux lumineux du fond. Désignons par vis à droite et vis à gauche les deux positions de la lunette de visée après retournement de  $180^\circ$  de celle-ci autour

de l'axe optique, le tourillon de droite se plaçant à gauche et inversement.

Par des visées vis à droite, vis à gauche sur le signal  $S$ , on détermine la lecture sans collimation du micromètre. Les différences lecture Signal — lecture sans collimation, exprimées en secondes, donnent les valeurs des angles  $\alpha_d$  ou  $\alpha_g$  que fait la droite  $L - S$  (fig. 2) avec le plan vertical  $P_1 P_2$  passant par le centre de la lunette de visée, perpendiculaire à l'axe secondaire; désignons ce plan sous le nom de plan opératoire.

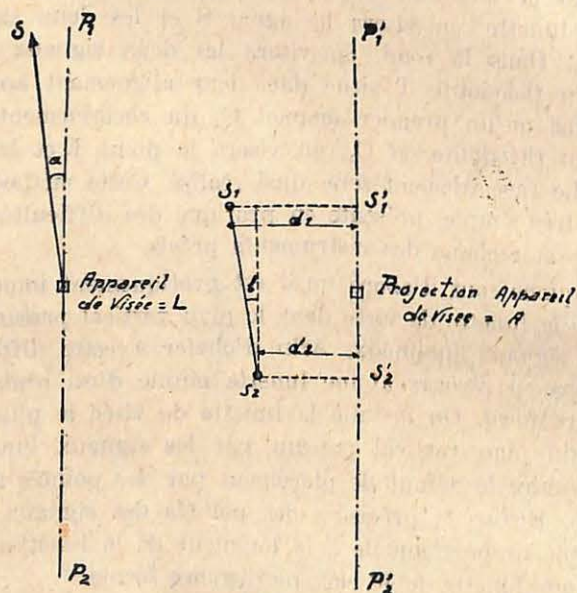


Figure 2.

Dirigeons la lunette vers les signaux du fond. Au niveau de ces signaux, la trace du plan opératoire se marquera en  $P_1' P_2'$  (fig. 2), ce plan correspond au fil sans collimation. On amènera le fil mobile du micromètre sur les images des signaux lumineux et l'on mesurera les quantités  $d_1$  et  $d_2$  qui sont les différences entre les lectures sur  $S_1, S_2$  et la lecture sans collimation. Supposons que le centre de l'appareil de visée se projette à mi-chemin entre les points  $S_1'$  et  $S_2'$

qui sont les projections de  $S_1$  et  $S_2$  sur la direction  $P_1 P_2$  (1). La quantité  $d_1 = d_2$  permettra de calculer l'angle  $b$  que fait la droite  $S_1 - S_2$  avec le plan opératoire  $P_1 P_2$ . Cette mesure sera effectuée dans les deux positions de la lunette de visée. La différence  $b - a$ , exprimée en secondes, donne l'angle de la droite  $L - S$  avec la droite  $S_1 - S_2$ . Connaissant le gisement de la droite  $L - S$ , on calculera le gisement de la droite  $S_1 - S_2$ . Il s'agit en plus de calculer les coordonnées des points lumineux  $S_1$  et  $S_2$  connaissant les coordonnées du centre de l'appareil de visée et le gisement de la droite  $P_1 P_2$ . Faisant tourner le micromètre de  $90^\circ$  dans sa monture, on pointera les signaux  $S_1$  et  $S_2$  (fig. 3)

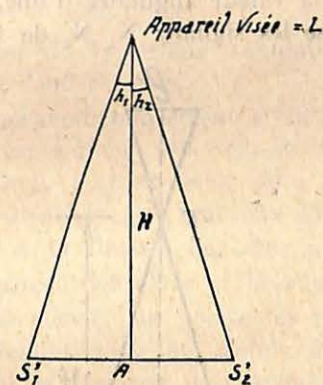


Figure 3.

dans les deux positions de la lunette et, après calage de la nivelle d'alidade, on lira le cercle vertical, d'où l'on déduira les distances zénithales des droites appareil de visée —  $S_1'$  et  $S_2'$ . Nous montrerons que, connaissant ces éléments, la profondeur du puits et la valeur angulaire d'une division du micromètre, il est possible de calculer les quantités  $A - S_1'$ ,

(1) Si cette condition n'est pas rigoureusement réalisée, les valeurs angulaires correspondant aux quantités  $d_1$  et  $d_2$  ne seront plus égales, les distances du centre de l'appareil de visée aux points  $S_1'$  et  $S_2'$  n'étant plus égales. En réalité, l'erreur provenant de cette inégalité des valeurs angulaires est très faible et peut être négligée.

$A - S_2', S_1' - S_1, S_2' - S_2$  (fig. 2) qui, combinées avec les coordonnées de  $A$  donneront les coordonnées de  $S_1$  et de  $S_2$ .

Stationnant en  $T$  (fig. 1) avec un théodolite situé dans l'alignement des signaux lumineux, on déterminera aisément le gisement des droites  $T - C_1$  et  $C_1 - C_2$  ainsi que les coordonnées de ces points.

### C. — Les mesures.

#### 1) Détermination de la valeur angulaire d'une division du micromètre.

On dispose deux signaux  $N_1 N_2$  à une distance  $FM = H$  (fig. 4) de l'appareil de visée, distance pour laquelle on veut déterminer la valeur angulaire d'une division du micromètre. On dispose les signaux  $N_1 N_2$  de façon que la droite

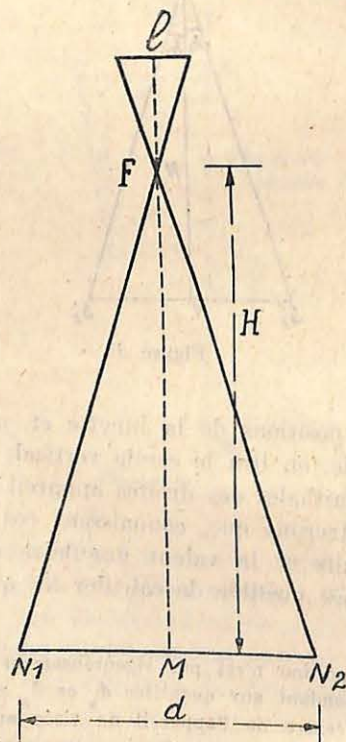


Figure 4.

$N_1 N_2$  soit perpendiculaire à  $FM$ ,  $M$  étant le point milieu de  $N_1 N_2$ . On pointe  $N_1$  et  $N_2$  au moyen du micromètre. Soit  $l$  la différence des lectures obtenues. On mesure  $H$  et  $d$ . De ces quantités, on déduit l'angle  $N_1 F N_2$ , ce qui donne la valeur angulaire d'une division du micromètre.

a) Détermination de la valeur angulaire pour les visées sur le signal  $S$ .

Sur la station  $S$ , on installe une poutre en bois de 2 mètres de long, sur laquelle on fixe deux clous servant de signal; on oriente la poutre perpendiculairement à  $M$ . ( $M$  coïncide avec  $S$ ) (fig. 4). On chaîne  $FM$  au centimètre près et  $N_1 N_2$  au millimètre près. On pointe  $N_1 N_2$  à différentes reprises au moyen du micromètre focal.

b) Détermination de la valeur angulaire pour les visées sur les signaux de fond  $S_1$  et  $S_2$ .

Dans le fond, perpendiculairement à l'alignement  $S_1 - S_2$ , et au niveau de ces signaux, on installe une poutre en bois de 2 mètres de long, portant deux clous horizontaux fortement éclairés se détachant en noir sur fond blanc pour un observateur situé à la lunette de visée au-dessus du puits. On mesure la distance des clous et la hauteur  $H$  au moyen d'un ruban de 50 mètres; on pointe les clous au moyen du micromètre; de ces mesures, on déduit la valeur angulaire d'une division du micromètre correspondant aux visées sur les signaux lumineux.

#### 2) Détermination des angles $a$ et $b$ (fig. 2).

a) Détermination de l'angle  $a$ .

L'angle  $a$  est la différence entre la lecture du signal  $S$  dans chacune des positions du micromètre et la lecture sans collimation; celle-ci est obtenue en faisant la moyenne de groupes de lectures sur le signal  $S$  dans les deux positions de la lunette. L'angle  $a$  fut déterminé par six groupes de mesures comportant chacun 10 pointés du signal fixe dans chacune des positions de la lunette. Pendant ces opérations, l'axe secondaire était maintenu horizontal à quelques secondes d'arc près au moyen du niveau cavalier.

b) détermination de l'angle  $b$ .

L'angle  $b$  fut aussi déterminé au moyen de six groupes de mesures comportant chacun 10 pointés de chacun des signaux lumineux dans les deux positions de la lunette.

En réalité, la détermination des quantités  $a$  et  $b$  marchait de pair. Après avoir pointé le signal  $S$  on pointait les signaux de fond, puis on visait à nouveau le signal de surface.

3) Détermination des coordonnées de  $S_1$  et  $S_2$ .

a) détermination des distances  $A - S_1'$ ,  $A - S_2'$  (fig. 2).

Représentons par  $L$  (fig. 3) le centre de l'appareil de visée et soient  $S_1'$  et  $S_2'$  les points qui correspondent aux notations de la figure 2. La droite  $L - A$  est verticale quand l'axe secondaire de la lunette de visée est horizontal. Les angles  $h_1$  et  $h_2$  sont donnés par les lectures au cercle vertical de l'appareil de visée. La hauteur  $H$  étant connue, on obtient aisément les valeurs de  $S_1' - A$  et  $A - S_2'$ .

b) détermination des distances  $S_1' - S_1$  et  $S_2' - S_2$  (fig. 2).

Ayant mesuré les quantités  $d_1$  et  $d_2$  et connaissant la valeur angulaire d'une division du micromètre, on en déduit immédiatement la valeur des distances  $S_1' - S_1$  et  $S_2' - S_2$ .

#### D. — Description des appareils.

##### L'appareil de visée.

L'appareil de visée est constitué par une forte embase ABCD en fer (fig. 5) de  $300 \times 300 \times 28$  mm., percée en son centre d'une ouverture  $O_1 O_2$  de  $100 \times 100$  mm. et munie de trois vis calantes à rattrapage de jeu conique. Elle est surmontée de deux colonnes EF et GH extrêmement robustes de 270 mm. de hauteur de  $40 \times 40$  mm. de section. Elles portent à leur partie supérieure deux coussinets en bronze en forme de V destinés à recevoir les tourillons de la lunette de visée. Celle-ci, de 48 cms. de distance focale, est constituée d'un objectif de 45 mm. d'ouverture et d'un micromètre focal de 1 mm. de pas; les déplacements du fil mobile sont lus sur un tambour gradué divisé en 100 parties; un tour complet de la vis corres-

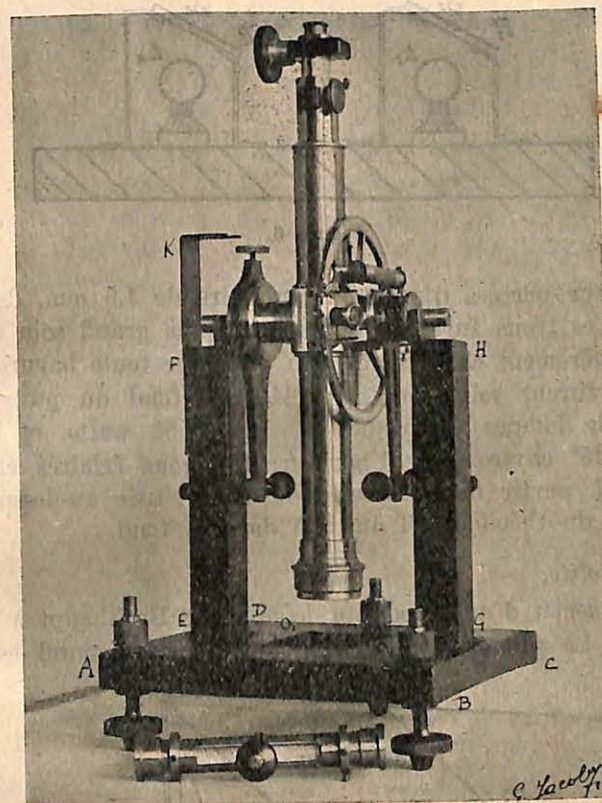


Figure 5.

pond à un déplacement du fil de 1 mm. On lit à l'estime les déplacements du fil à 0,001 mm. près. Un niveau cavalier donnant les 2'' par division de 2 mm., peut être placé sur les tourillons de la lunette et permet le nivellement précis de l'axe secondaire. Une pièce métallique FK maintient le niveau cavalier en place. L'appareil de visée est installé au-dessus du puits, sur une plate-forme en bois très robuste qui repose sur la partie en béton du puits. Une seconde plate-forme, indépendante de la première, supporte l'observateur.

Les signaux lumineux  $S$  (fig. 6) sont constitués par des plaques métalliques  $P_1$  et  $P_2$  de  $150 \times 150$  mm. et de 2 mm.

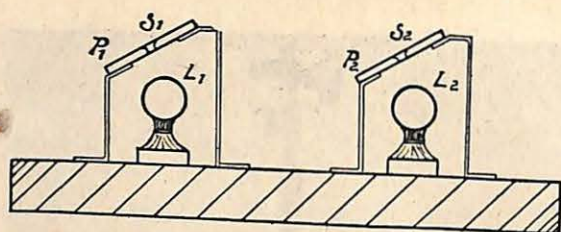


Figure 6.

d'épaisseur percées d'un trou circulaire de 1,5 mm. de diamètre. Ces trous furent forés avec le plus grand soin et les bords légèrement chanfreinés afin d'enlever toute bavure. Ces plaques furent solidement installées au fond du puits, au-dessus de lampes électriques  $L_1$ ,  $L_2$  de 50 watts, et inclinées à 45° environ sur l'horizon; les trous éclairés étaient visibles à partir de la lunette de visée située au-dessus du puits et du théodolite T installé dans le fond.

#### Le théodolite.

On se servit d'un théodolite de mine de Breithaupt à trois trépieds. La plus petite division du cercle horizontal est de

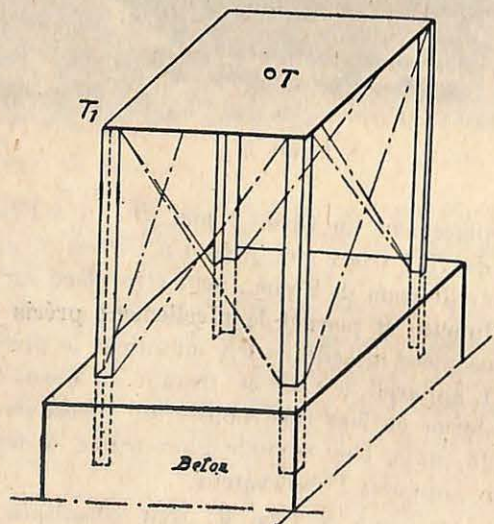


Figure 7.

20' et la lecture se fait au moyen de microscopes à échelle permettant d'apprécier les 6 secondes d'arc.

#### Le signal de surface S.

Le signal S, constitué par une des embases du théodolite de mine permettant d'employer la méthode des trois trépieds, se posait sur une plate-forme métallique (fig. 7) de 1 mètre de haut, constituée par un assemblage de fers cornières soudés dont les extrémités inférieures étaient noyées dans un massif en béton. La construction était surmontée d'une table métallique  $T_1$ ,  $T_2$  de 40 × 40 cms. percée d'un trou circulaire T de 30 mm. de diamètre. L'embase du signal était centrée très exactement en dessous de cette ouverture. Lors des opérations de triangulation, le trou T recevait un jalon de 30 mm. de diamètre disposé verticalement.

## II. — CREUSEMENT D'UNE GALERIE DE 1.500 METRES DE LONG ENVIRON.

Il s'agissait de relier les deux sièges de l'Espérance et Bonne-Fortune à Montegnée par une galerie souterraine de 1.500 mètres de long environ, partant des puits  $P_1$  et  $P_2$  (fig. 8) établis dans chacun des sièges. En vue de hâter la réalisation du travail, on décida de commencer le creusement de la galerie par les deux extrémités. Le problème topographique consistait à assurer une jonction parfaite des deux tronçons creusés à partir de chacun des sièges. La galerie étant destinée à recevoir une installation de traînage mécanique, il était souhaitable de réaliser une jonction des deux tronçons avec un écart ne dépassant pas 15 cms. en direction et 5 cms. en nivellement.

Le problème topographique se divise en deux parties : le problème des directions et le problème du nivellement.

#### A. — Problème des directions.

On établit une triangulation de surface en vue de déterminer les gisements de deux directions aboutissant, l'une dans le voisinage du puits  $P_1$ , l'autre dans le voisinage du puits  $P_2$

(fig. 8). Il s'agissait de rattacher à ces directions, un alignement de fond situé dans le voisinage de chacun des puits. Enfin, partant de ces alignements, il fallait donner les directions d'attaque des galeries. Vu l'importance du travail, nous avons employé, non seulement la méthode classique des aplombs, mais aussi la méthode optique décrite plus haut.

#### B. — Problème du nivellement.

Il s'agissait de déterminer les cotes relatives des deux puits d'attaque. Pour cela, on effectua un nivellement de surface entre les orifices des deux puits; on chaîna la profondeur des puits et on prolongea le circuit de nivellement jusqu'aux points d'attaque.

Nous décrirons successivement chacune de ces opérations.

### A. — Le problème des directions.

#### 1. — La triangulation.

Le terrain compris entre les sièges de l'Espérance et de Bonne-Fortune, presque horizontal, est occupé par des maisons d'habitation, des jardins et des vergers entourés de haies. Pour éviter ces obstacles, nous fûmes obligés d'établir la plupart des sommets de la triangulation sur des constructions existantes : toit, plate-forme ou château d'eau. La figure 8 montre la distribution des sommets. Afin d'éviter l'emploi de trépieds et de fils à plomb pour le centrage du théodolite, on établit, à chaque sommet de la triangulation, une table d'observation dans le genre de celle supportant le signal S (fig. 7) mais au lieu d'être en métal, elle était constituée par un assemblage en gros madriers. Ces stations furent maintenues en place pendant tout le cours du travail. Un jalon, placé verticalement dans l'ouverture T et de même diamètre que celle-ci, constituait le signal de visée.

En vue du centrage du théodolite, une pièce cylindrique portant un point de centre était introduite à frottement doux dans le trou T. On centrât ensuite l'appareil en se servant d'une tige cylindrique qui coulissait suivant l'axe principal du

théodolite et était amenée au-dessus du point de centre en déplaçant le théodolite sur la table  $T_1$ ,  $T_2$ .

Le centrage s'effectuait à deux ou trois dixièmes de millimètre près. On se servit du théodolite de mine de Breithaupt décrit plus haut. Les angles furent mesurés par la méthode du tour d'horizon dans quatre positions du cercle horizontal, décalées chacune de  $45^\circ$  environ. On mesura, à deux reprises, une base de 350 mètres environ, située en terrain régulier, en se servant d'un ruban en acier ordinaire de 20 mètres de longueur employé sous tension constante. Les repères de lecture étaient constitués par des clous de charpentier, dont la tête, rendue lisse par un coup de lime, portait une croisée de traits servant de repère de lecture. Deux portées, situées à chacune des extrémités de la base, furent mesurées au moyen d'un ruban en acier invar de longueur connue. Ces mesures de complément permirent de tenir compte de la température du ruban mesureur. On effectua le nivellement de chaque portée au moyen d'une lunette de nivellement.

Toutes réductions faites, on obtint les résultats ci-dessous.

Première mesure . . . . .	350.8448
Deuxième mesure . . . . .	350.8454
Moyenne . . . . .	350.8451

#### Calcul de la triangulation.

Le schéma de la triangulation était constitué par une série de quadrilatères complets, ce qui assurait une transmission précise des directions (fig. 8). Partant de la base, on calcula les quadrilatères complets suivants :

1—2—4—3.  
1—2—4—6.  
2—4—5—6.  
6—4—8—7.  
6—4—8—9.  
6—4—9—7.

On calcula les angles de chacun des 4 triangles constituant un même quadrilatère et l'on compensa tous les triangles par

corrections égales sur chacun des angles. L'erreur de fermeture des triangles, avant compensation, fut en moyenne de 2''2. Partant des angles ainsi obtenus, on calcula les gisements de tous les côtés et les coordonnées des différents sommets. On prit comme axe des x le côté 7-6, en donnant arbitrairement au sommet 7 les coordonnées 300.000 et 00.000, ceci afin d'éviter des coordonnées négatives.

Les résultats des calculs figurent dans le tableau A. -- Dans les première, deuxième et troisième colonnes sont indiqués respectivement les numéros des côtés, leur longueur et leur gisement. La quatrième colonne donne les gisements réduits au premier quadrant, les cinquième et sixième colonnes les coordonnées partielles, les septième et huitième colonnes les coordonnées totales des sommets.

TABLEAU A

Côtés	Longueurs	Azimuts	Azimuts réduits	Coordonnées partielles		Coordonnées totales	
				$x = l \cos \alpha$	$y = l \sin \alpha$	x	y
7-6	1224,266	0.00.00	0.00.00	+ 1.224.266	00.000	+ 1.524.266	0.000
7-4	1219,515	32.53.07	32.53.07	+ 1.024.100	+ 662.147	+ 1.324.100	+ 662.147
7-8	262,115	57.49.41	57.49.41	+ 139.566	+ 221.868	+ 439.566	+ 221.868
7-9	149,030	134.14.51	45.44.09	— 104.018	+ 106.725	+ 295.982	+ 106.725
6-5	477,157	94.29.19	85.30.41	— 37.343	+ 475.694	+ 1.486.923	+ 475.694
6-4	691,762	106.49.17	73.10.43	— 200.188	+ 662.162	+ 1.324.078	+ 662.162
6-2	591,345	118.17.35	61.42.25	— 280.287	+ 520.700	+ 1.243.979	+ 520.700
2-4	162,558	60.28.41	60.28.41	+ 80.102	+ 141.453	+ 1.324.081	+ 662.183
6-1	642,711	150.59.25	29.00.35	— 562.080	+ 311.688	+ 962.186	+ 311.688
1-3	155,718	124.26.54	55.33.06	— 88.084	+ 128.411	+ 874.102	+ 440.099
3-4	501,786	26.15.57	26.15.57	+ 449.977	+ 222.059	+ 1.324.079	+ 662.158
3-2	378,555	12.17.36	12.17.36	+ 369.875	+ 80.601	+ 1.243.977	+ 520.700
4-5	247,540	311.08.03	48.51.57	+ 162.838	— 186.440	+ 1.486.919	+ 475.718
2-5	247,071	349.30.30	10.29.30	+ 242.940	— 44.990	+ 1.486.918	+ 475.710
6-8	1107,133	168.26.22	11.33.38	— 1.084.673	+ 221.873	+ 439.593	+ 221.873
4-8	988,030	206.27.50	26.27.50	— 884.500	— 440.300	+ 439.581	+ 221.858
6-9	1332,606	175.24.22	4.35.38	— 1.328.325	+ 506.732	+ 195.941	+ 106.732
4-9	1257,456	206.12.47	26.12.47	— 1.128.136	— 555.431	+ 195.945	+ 106.727
8-9	269,495	205.17.42	25.17.42	+ 243.656	— 115.150	+ 195.931	+ 106.715
1-4	503,787	44.04.51	44.04.51	+ 361.900	+ 350.471	+ 1.324.086	+ 662.150
1-2	350,845	36.33.55	36.33.55	+ 281.791	+ 209.013	+ 1.243.977	+ 520.700

TABLEAU B

Sommets	x	y
4	+ 1.324.081	+ 662.158
2	+ 1.243.978	+ 520.700
5	+ 1.486.920	+ 475.707
8	+ 439.587	+ 221.865
9	+ 195.947	+ 106.725
7	+ 300.000	+ 00.000
6	+ 1.524.266	+ 0.000
1	962.186	+ 311.688

Le tableau B donne les coordonnées définitives des différents sommets, telles qu'elles résultent des deux dernières colonnes du tableau A. L'erreur moyenne de chacune des coordonnées figurant dans le tableau 8 est de l'ordre de  $\pm 4$  mm.

#### Deuxième mesure de la triangulation.

Les tableaux A et B se rapportent à une première mesure de la triangulation effectuée en juillet 1938, dès le début du creusement de la galerie.

Les sommets de la triangulation étant situés en région minière, nous pouvions craindre des affaissements de terrain et des déplacements des points triangulés servant de base de départ et de contrôle pour le creusement des galeries. Afin de contrôler la stabilité des points triangulés, en mai 1939, il fut décidé, deux mois avant la jonction des deux tronçons, de mesurer à nouveau tous les éléments de la triangulation. Cette nouvelle mesure fut effectuée dans les mêmes conditions que la première, en employant les mêmes méthodes et appareils. La précision des mesures fut comparable à celle de la première triangulation.

L'étude de la disposition des exploitations minières anciennes et actuelles par rapport à notre triangulation, nous portait à croire que les stations 6 et 8 présentaient la plus grande présomption de stabilité. La nouvelle triangulation fut calculée en supposant fixes le point 6 et la direction 6-8.



En outre, on prit comme longueur de 6—8, celle qui résultait de la première triangulation, à savoir 1107,133 m.

Les résultats des calculs sont donnés dans les tableaux C et D.

TABLEAU C

Côtés	Longueurs	Azimuts	Coordonnées totales	
			x	y
6—8	1107.133	168.26.22	+ 439.593	+ 221.873
6—7	1224.254	179.59.34	+ 300.012	+ 0.154
6—9	1332.649	175.23.53	+ 195.915	+ 106.936
6—5	477.191	14.28.51	+ 1.486.985	+ 475.732
6—1	642.681	150.59.24	+ 962.219	+ 311.676
6—4	691.750	106.48.42	+ 1.324.193	+ 662.185
1—4	503.864	44.04.38	+ 1.324.196	+ 662.195
4—5	247.500	311.07.35	+ 1.486.981	+ 475.763
4—7	1219.543	212.52.43	+ 299.976	+ 0.153
4—8	988.102	206.27.40	+ 439.610	+ 221.906
4—9	1257.528	206.12.13	+ 195.887	+ 106.919
7—9	149.101	134.16.10	+ 195.917	+ 106.920
9—8	269.446	25.25.39	+ 439.590	+ 221.909
7—8	262.025	57.48.24	+ 439.595	+ 221.894
7—5	1278.725	21.50.20	+ 1.486.950	+ 475.837

TABLEAU D

Sommets	x	y	Différences	
			x	y
7	+ 299.994	+ 0.153	— 0.006	0.000
4	+ 1.324.195	+ 662.190	+ 0.114	+ 0.032
5	+ 1.486.980	475.750	+ 0.060	+ 0.030
8	+ 439.597	+ 221.900	+ 0.010	+ 0.035
9	+ 195.910	+ 106.923	— 0.037	+ 0.198
6	+ 1.524.266	0.000	0.000	0.000
1	+ 962.219	+ 311.070	+ 0.0033	— 0.012

La comparaison des tableaux B et D montre que le point 4 a dû subir un déplacement de l'ordre de 13 cms. et le point 7 de 15 cms, déplacements largement supérieurs aux erreurs de mesure.

De nombreuses mesures de complément infirmèrent ces conclusions. Les points 4 et 7 semblaient avoir subi des déplacements peu importants tandis que toutes les mesures de vérification indiquaient que, contre toute attente, c'était le point 8 qui avait subi un déplacement. Comme prévu, le point 6 était resté stable; il en était de même de 9.

Devant ces conclusions, on calcula de nouveau la triangulation, en supposant inchangés les points 6 et 9. On obtint les tableaux E et F. La comparaison des tableaux B et H montre que les points 1 et 8 ont subi de forts déplacements. Le sens du déplacement de 1 s'explique en tenant compte d'un front de taille qui s'approchait de ce point. Le déplacement de 8 est resté inexplicé. Cependant la dernière orientation des travaux souterrains fut fondée sur les résultats des tableaux E et F. Le percement parfait obtenu semble indiquer que nous avons eu raison de choisir cette solution.

TABLEAU E

Côtés	Longueurs	Azimuts	Coordonnées totales	
			x	y
6—9	1.332.606	175.24.22	+ 195.941	+ 106.731
6—8	1.107.097	168.26.50	+ 439.598	+ 221.719
6—7	1.224.214	180.00.02	+ 300.052	— 0.012
6—5	477.176	94.29.15	+ 1.486.932	+ 475.713
6—1	642.660	150.59.48	+ 962.201	+ 311.590
6—9	691.728	106.49.06	+ 1.324.123	+ 662.141
1—4	503.848	44.05.06	+ 1.324.119	+ 662.130
4—5	247.492	311.08.03	+ 1.486.927	+ 475.731
4—7	1.219.504	212.53.11	+ 300.044	— 0.025
4—8	988.070	206.28.08	+ 439.623	+ 221.740
4—9	1.257.487	206.12.41	+ 195.941	+ 106.713
7—9	149.096	134.16.38	+ 195.960	+ 106.730
9—8	269.437	25.16.07	+ 439.603	+ 221.740
7—8	262.017	57.48.52	+ 439.615	+ 221.734
7—5	1.278.684	21.50.30	+ 1.486.941	+ 475.707

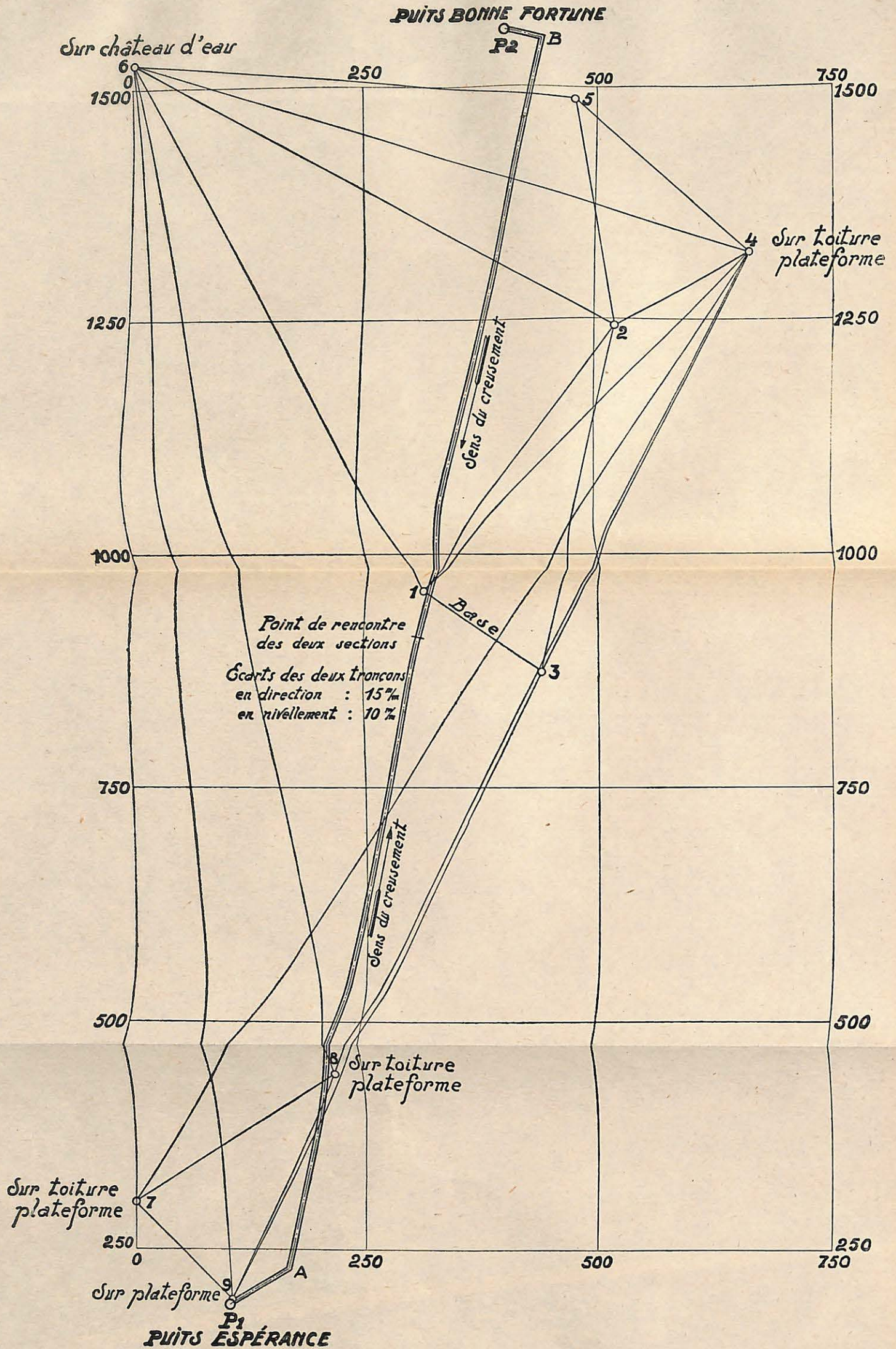


TABLEAU F

Sommets	x	y	Différences	
			x	y
7	+ 300.048	- 0.018	- 0.048	+ 0.018
4	1.324.121	+ 662.135	+ 0.040	+ 0.023
5	1.486.933	475.717	- 0.013	- 0.017
9	195.947	106.723	0.000	- 0.002
8	439.610	221.733	+ 0.022	- 0.132
6	1.524.266	0.000	0.000	0.000
1	962.201	311.590	- 0.015	- 0.098

## 2. — Transmission des directions à partir de la surface jusqu'aux galeries souterraines.

Dès qu'une vingtaine de mètres de galerie furent creusés à partir des puits de l'Espérance et de Bonne-Fortune, on fit une première orientation des travaux par la méthode des aplombs. Cette première opération ne demandait pas une précision bien considérable. En fait, elle permit de situer correctement les deux bouts de galerie  $P_1A$  et  $P_2B$  (fig. 8) et d'amorcer la partie rectiligne fondamentale  $AB$ .

Aux points de changement de direction  $A$  et  $B$ , on installa deux plate-formes métalliques du type décrit plus haut pour le signal  $S$  (fig. 7) et destinées à recevoir le théodolite. Un trou de 2 mm. de diamètre percé dans la tablette supérieure indiquait le centre de la station. Désignons ces points par  $A$  et  $B$ . Dès que ces plate-formes furent installées, il s'est agi de déterminer avec précision la position des points  $A$  et  $B$  par rapport à la triangulation de surface et les gisements de deux directions partant de  $A$  et  $B$  (fig. 9) dans chacune des galeries nouvellement creusées. A quelques mètres au delà des points  $P_1$  et  $P_2$ , il fut possible de marquer des repères  $C$  et  $D$  sur les cintres métalliques qui constituent l'armature de la galerie. Ces repères consistaient en un coup de poinçon marqué dans le cintre. En réalité, chacun des alignements  $AC$  et  $BD$  fut matérialisé par 4 repères; ceux que nous venons de décrire, plus quatre autres 1,2 et 3,4. Les points  $A-C$  étaient distants de 80 mètres et les points  $B-D$  de 50 mètres environ.

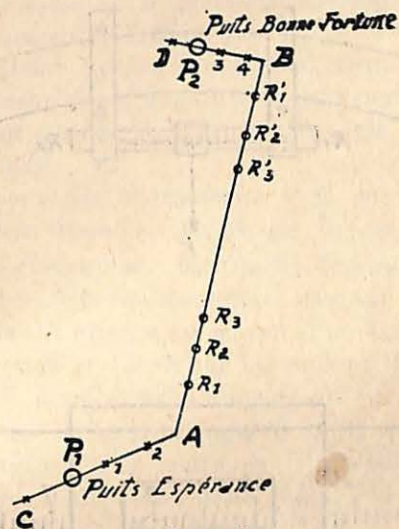


Figure 9.

### Repères d'alignement dans la partie rectiligne $AB$ .

Les repères d'alignement dans la partie rectiligne  $AB$  étaient constitués par des règles graduées  $R_1, R_2$  de 25 cms. de longueur, (fig. 10) solidement fixées à la partie supérieure  $C_1, C_2$  des cintres métalliques. Sur chacune de ces règles placées horizontalement, glissait un curseur  $C$  portant un trait repère  $R$  qui se déplaçait le long de la graduation. Le point de fixation du fil à plomb  $F$  était situé exactement à l'aplomb du trait repère lorsque le curseur coulissait le long des règles.

Nous décrivons ici :

1° la mise en place d'un premier repère d'alignement dans la partie rectiligne  $AB$ , en partant des alignements  $AC$  et  $BD$ .

2° la mise en place d'un repère quelconque dans la même partie rectiligne, en partant des sommets  $A$  ou  $B$  et des premiers repères placés.

1° Placement d'un premier repère.

Connaissant le gisement des droites  $AC$  et  $BD$  (fig. 9) ainsi que le gisement de l'axe du tunnel  $AB$ , calculé en par-

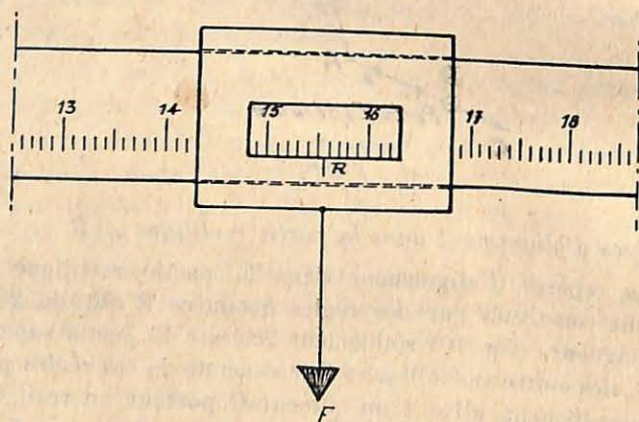
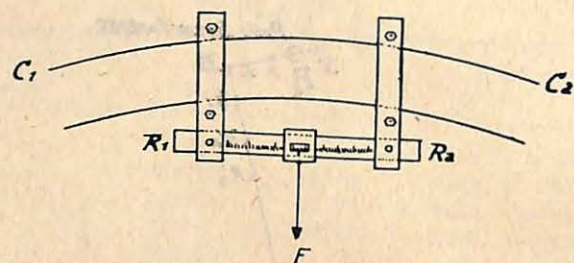


Figure 10.

tant des coordonnées de A et B, il était aisé de calculer les angles C A B et D B A.

Stationnant en A avec un théodolite, on plaçait le curseur à la lecture 100 mm. de la première règle et l'on mesurait l'angle C A R, dans quatre positions du cercle horizontal. On calculait l'angle moyen obtenu et on le comparait à la valeur théorique à obtenir. Connaissant la distance A R<sub>1</sub>, qui était de l'ordre de 100 mètres, il était aisé de calculer la correction à donner au curseur pour l'amener à sa place théorique. Après déplacement du curseur de la quantité calculée, dans le sens voulu, on mesurait le nouvel angle C A R<sub>1</sub> dans quatre posi-

tions du cercle horizontal. Si la valeur théorique et la valeur trouvée après correction différaient de moins de 3 secondes d'arc, on considérait l'opération comme terminée, sinon, on déplaçait le curseur d'une quantité proportionnelle à l'angle trouvé. On faisait ensuite la lecture de la règle correspondant à la position trouvée.

2°) Prolongement des alignements A R<sub>1</sub> et B R<sub>1</sub>.

Ces alignements furent prolongés au fur et à mesure de l'avancement du creusement. En réalité, des repères d'alignement furent placés tous les 100 mètres environ.

Ces repères étaient alignés au moyen d'un théodolite centré sur les points A ou B et visant sur les repères R<sub>1</sub> ou R<sub>2</sub>. Lorsqu'un repère R était dans l'alignement présumé, à titre de vérification, on mesurait l'angle C A R qui devait être égal à l'angle théorique à moins de 3 secondes d'arc près. Quand la différence dépassait cette valeur, on recommençait l'opération d'alignement. Dès qu'un repère R était définitivement mis en place, on faisait la lecture à la règle. Le fil à plomb était rendu visible à distance grâce à un écran constitué par un cadre portant un morceau de toile à calquer éclairée par une lampe électrique. Même aux distances les plus longues, 700 mètres environ, ce mode d'éclairage donna pleine satisfaction.

*Transmission des directions de la surface vers le fond.*

1) Méthode des aplombs.

Deux fils de bronze de 1,4 mm. de diamètre furent suspendus dans chacun des puits et tendus chacun par un poids de 15 Kg. A la surface, ils étaient solidement fixés à un gros madrier en bois supporté par deux chevalets reposant à même le sol, de part et d'autre du puits et les poids étaient immergés dans des baquets remplis d'eau. Toutes les précautions d'usage furent prises pour éviter tout contact des aplombs contre les parois du puits ou des baquets. Le raccordement fut effectué en appliquant la méthode exposée par M. le Professeur Dehalu dans son cours de topographie minière à l'Université de Liège.

Le théodolite de mine de Breithaupt était placé dans l'ali-

gnement approximatif des aplombs, à la surface d'abord, dans le fond ensuite et l'on effectuait la mesure précise de l'angle sous lequel les aplombs étaient vus à partir du théodolite.

Le raccordement de précision de la direction de surface et de la direction du fond fut effectué à deux reprises pour chacune des galeries. Une première fois, dès que les repères  $R_1$   $R_1'$  furent placés, une seconde fois un peu avant le percement.

Afin de donner une idée de la précision des résultats obtenus par la méthode des aplombs, nous mentionnons ci-dessous, le résultat de la première orientation faite au siège de l'Espérance.

a) Opérations de surface.

Le théodolite fut placé dans l'alignement approximatif des aplombs et l'on mesura, à quatre reprises, l'angle sous lequel ils étaient vus à partir de l'appareil. Partant de ces mesures et des visées de raccordement à la triangulation, le gisement du plan des aplombs fut trouvé égal à :

47° 19' 50''  
19' 37''  
19' 42''  
19' 42''

---

47° 19' 433'' ± 2''5.

b) Opérations souterraines.

Le théodolite fut de nouveau placé dans l'alignement approximatif des aplombs et l'angle sous lequel ils étaient vus fut mesuré 8 fois, ce qui donna les nombres suivants comme gisement de la droite Théodolite-Aplomb  $A_2$  (fig. 11).

47° 19' 55''  
19' 32''  
19' 42''  
19' 42''  
19' 59''  
19' 55''  
19' 46''  
20' 14''

---

47° 19' 51'' ± 2''8



Figure 11.

Si l'on tient compte des opérations de surface et de fond, l'erreur moyenne de la moyenne adoptée comme valeur du gisement de la droite théodolite- $A_2$  est de  $\pm 3''9$ . On raccorda ensuite la direction  $R_1$   $R_2$ .

2. Méthode optique.

Opération du 11 janvier 1939. (Première orientation au siège de Bonne-Fortune.)

La lunette de visée était située en L. Le raccordement à la triangulation se fit à partir du point 5, (fig. 12) qui est un des sommets de cette triangulation.

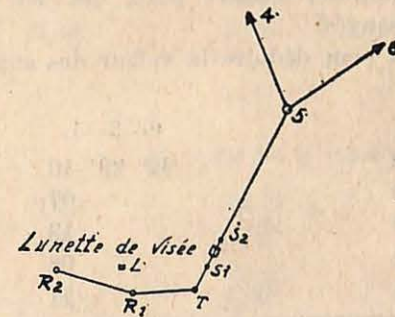


Figure 12.

Les opérations de raccordement eurent lieu dans l'ordre suivant :

- a) mesures en 5;
- b) visées au moyen de l'appareil de visée vers les signaux lumineux du fond  $S_1$  et  $S_2$ ;
- c) visées au théodolite à partir de la station du fond T, sur les deux signaux lumineux  $S_1$  et  $S_2$  et raccordement au cheminement de fond  $R_1$ ,  $R_2$ ...

Nous décrirons successivement les résultats obtenus pour chacune de ces opérations.

- a) mesures en 5.

Le point 5 est la station 5 de la triangulation. En ce point, on installa le théodolite de mine qui servit pour toutes les opérations et l'on visa les points 4, 6 et la lunette de visée L. L'angle 4—5—6 fut mesuré cinq fois dans les deux positions de la lunette; on obtint :

143° 21.17
21.19
21.12
21.13
21.19

Moyenne 143° 21' 14'' ± 1''5.

Lors de la triangulation effectuée en juillet 1938, cet angle fut trouvé égal à 143° 21' 16''. La concordance entre les deux mesures semble indiquer, d'une part, que la précision des mesures était satisfaisante, d'autre part, que les trois points étaient restés inchangés.

Des mesures, on peut déduire la valeur des angles 4—5—L et 6—5—L :

4—5—L	6—5—L
185° 49' 24''	42° 29' 10''
20	07
24	13
21	08
31	11
185° 49' 24'' ± 1''9	42° 28' 08'' ± 1''4

Partant des gisements de 5—4 et 5—6 repris dans le tableau A, on trouve :

gisement 5—4 131,08.03	gisement 5—6 274.29.19
185.49.24	42.28.08
gisement 5—L 316.57.27	gisement 5—L 216.57.27

b) visées vers les signaux  $S_1$  et  $S_2$  à partir de la lunette de visée.

Dans le tableau G, nous avons reporté les lectures micrométriques faites sur le signal 5 et sur les signaux  $S_1$  et  $S_2$ . Les observations ont comporté 8 groupes de lectures, micromètre à droite-micromètre à gauche. Chaque groupe comportait tout d'abord un pointé du signal fixe 5, puis un pointé du signal lumineux  $S_1$ , deux pointés du signal  $S_2$ , puis un second pointé du signal  $S_1$ ; enfin, le groupe était clôturé par un nouveau pointé sur le signal fixe 5. Dans les colonnes 7, 8, 9 et 16, 17 et 18, figurent les moyennes des pointés sur 5,  $S_1$  et  $S_2$ .

En vue de la détermination de la valeur angulaire d'une division du micromètre, on pointa sur deux points de distance connue, situés au niveau des deux signaux lumineux.

On obtint les lectures suivantes :

Micromètre à droite		
4.836	4.820	4.827
2.960	2.940	2.945
1.876	1.880	1.882
Micromètre à gauche		
3.675	3.676	3.678
1.813	1.865	1.872
1.862	1.865	1.872

Moyenne générale : 1.872.

TABEAU G

	Micromètre à droite						Micromètre à gauche						Moyennes		
	S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		5		S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		5		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	
3.450	2.805	2.820	2.824	2.804	3.455	3.453	2.805	2.822	3.281	3.847	3.830	3.852	3.853	3.285	3.283
3.460	2.812	2.825	2.817	2.804	3.465	3.462	2.808	2.821	3.287	3.860	3.840	3.840	3.871	3.275	3.286
3.400	2.798	2.812	2.795	2.795	3.396	3.398	2.796	2.812	3.282	3.854	3.824	3.825	3.850	3.272	3.277
3.408	2.803	2.816	2.820	2.800	3.403	3.405	2.801	2.818	3.261	3.850	3.834	3.830	3.851	3.273	3.267
3.413	2.804	2.822	2.819	2.809	3.413	3.413	2.806	2.820	3.170	3.800	3.781	3.776	3.798	3.165	3.168
3.426	2.808	2.822	2.819	2.803	3.423	3.423	2.805	2.820	3.173	3.796	3.785	3.779	3.794	3.163	3.168
1.081	2.723	2.894	2.883	2.738	1.085	1.084	2.731	2.888	5.602	3.864	3.697	3.710	3.860	5.584	5.593
1.085	2.734	2.800	2.884	2.737	1.086	1.085	2.736	2.887	5.585	3.863	3.699	3.699	3.853	5.594	5.590

Connaissant la distance des signaux et la distance du foyer antérieur de la lunette de visée aux signaux lumineux, on trouve que la valeur de la dernière unité du tableau reportée dans le plan des signaux lumineux est de 0,074251 mm. Les signaux lumineux étant distants de 2 m. 15, une différence de pointé de 0.001 de tour du micromètre correspond à une différence d'alignement de 7''126.

La distance focale de la lunette étant de 480 mm., la valeur angulaire du 0.001 de tour du micromètre est de 0''418.

Les résultats des calculs sont donnés dans le tableau H, où l'on a calculé les quantités *a* et *b* définies, lors de l'exposé de la méthode. La quantité (*a* - *b*) est, en réalité, l'angle que fait la direction centre lunette de visée-signal S (surface) avec la direction définie par les deux signaux lumineux du fond. Cet angle est de 171'' et l'erreur moyenne de la moyenne est de ± 4''5.

Le gisement de la direction centre lunette de visée-signal S étant de 136°57'27'', le gisement de la direction S<sub>1</sub> - S<sub>2</sub> est de 136°57'27'' - 2'51'' = 136°54'36''.

c) visée au théodolite, à partir de la station de fond T sur les deux signaux lumineux S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> et raccordement au cheminement de fond R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> (fig. 13).

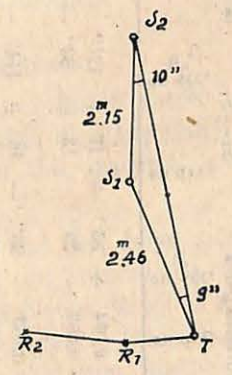


Figure 13.

Le théodolite de mine fut installé dans le fond, dans l'alignement approximatif des deux signaux S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>, à 2 m.

TABEAU H

Micromètre à droite				Micromètre à gauche			
Différ. pointés 5 MG — MD divisés par 2	Différ. pointés signaux MD S <sub>2</sub> — S <sub>1</sub>	(a — b)''	Différ. pointés MD — MG divisés par 2	Différ. pointés signaux MG S <sub>2</sub> — S <sub>1</sub>	(a — b)''	Moyenne (a — b)''	
en div. en sec.	en div. en sec.		en div. en sec.	en div. en sec.			Moyenne 171'' ± 4''5
— 0.084	— 35''	— 121''	— 0.084	— 35''	— 184''	— 170''	
— 0.093	— 39''	— 93''	— 0.094	— 39''	— 178''	— 175''	
— 0.063	— 26''	— 114''	— 0.063	— 26''	— 224''	— 182''	
— 0.066	— 27''	— 121''	— 0.066	— 27''	— 136''	— 165''	
— 0.122	— 51''	— 100''	— 0.123	— 51''	— 200''	— 175''	
— 0.130	— 54''	— 107''	— 0.130	— 54''	— 147''	— 154''	
+ 2.254	+ 942''	+ 1119''	+ 2.255	+ 943	+ 1134''	+ 189''	
+ 2.252	+ 941''	+ 1077''	+ 2.253	+ 942	+ 1134''	+ 169''	

environ du plus rapproché. L'angle S<sub>1</sub> — T — S<sub>2</sub> fut mesuré quatre fois dans chacune des positions de la lunette. On trouva les valeurs :

12''  
10''  
6''  
9''

Moyenne 9'' ± 1''2.

Les distances T<sub>1</sub> — S<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> — S<sub>2</sub> furent mesurées au moyen d'un ruban. Appliquant la formule des sinus au triangle S<sub>1</sub> — S<sub>2</sub> — T, on trouva que l'angle S<sub>1</sub> — S<sub>2</sub> — T était égal à 10''. Le gisement de la direction S<sub>1</sub> — S<sub>2</sub> étant de 136°54'36'', il s'ensuivit que le gisement S<sub>2</sub> — T était de 316°54'26''. Des mesures effectuées en T, et en R<sub>1</sub>, on déduisit le gisement de R<sub>1</sub> R<sub>2</sub>.

Le gisement de la direction R<sub>1</sub> R<sub>2</sub> a été mesuré en partant de la méthode des aplombs et de la méthode optique.

Méthode des aplombs : gisement R<sub>1</sub> R<sub>2</sub> . . . . . 191°47'40''  
Méthode optique : gisement R<sub>1</sub> R<sub>2</sub> . . . . . 191°47'34''

Les résultats sont concordants.

Résultats des deux méthodes.

Les deux méthodes d'orientation furent appliquées, à deux reprises, à chacun des puits de l'Espérance et de Bonne-Fortune, une fois au début des travaux, une seconde fois un peu avant le percement.

Les résultats fournis par les deux méthodes furent toujours concordants. Les différences de gisement pour un même alignement de fond furent de 6'' et 9'' à Bonne-Fortune et de 12'' et 14'' à l'Espérance. On prit chaque fois comme orientation définitive la moyenne fournie par les deux méthodes.

Les coordonnées des points de fond obtenues par les deux méthodes ne diffèrent jamais de plus de 10 mm. On prit aussi les moyennes données par les deux méthodes.



*Conduite générale des travaux de fond.*

La méthode des aplombs et la méthode optique permirent de déterminer avec précision les coordonnées des deux points A et B. Partant des coordonnées de ces points, on calcula le gisement de l'axe A B de la partie rectiligne du tunnel. Connaissant les gisements des droites A C et B D, on calcula les angles C A B et D B A qui déterminaient, en A et B, les directions A B et B A, directions suivant lesquelles les repères R et R' furent placés, ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

Les directions A R et B R' furent prolongées au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

**B. — Opérations de nivellement.**

Les opérations de nivellement ne présentant aucune difficulté spéciale, nous en ferons une description très rapide. On effectua un nivellement de précision à la lunette de nivellement entre les deux taques de surface des deux puits de l'Espérance et Bonne-Fortune. Ce nivellement fut effectué aller et retour, à deux reprises, une fois au début des travaux, une seconde fois un peu avant le percement. On chaîna la profondeur du puits et on prolongea le cheminement de nivellement dans le fond jusqu'aux tablettes des repères A et B. Ce sont ces points qui servirent pour tous les nivellements dans les galeries.

Ces nivellements furent exécutés avec le plus grand soin et la différence de niveau entre les deux tablettes A et B était connue à moins de 10 mm. près.

**C. — Résultats du percement.**

Lorsque les deux tronçons du tunnel se rencontrèrent vers le milieu de A B, nous fîmes des opérations topographiques de vérification. On constata que le raccordement des axes A B et B A se faisait à 15 mm. près en direction et 10 mm. près en nivellement.

## Note sur le tir d'ébranlement à front des chassages en couches sujettes à dégagement instantané

par E. DEMELENNE,

Ingénieur des Mines à Mons.

Les travaux préparatoires entrepris dans les couches Veine A et Veine B, à l'étage de 1.100 mètres du siège n° 7 Saint-Antoine, des Charbonnages de l'Agrappe-Escouffiaux, ayant donné lieu à de petits dégagements instantanés, l'exploitation de ces couches, avec remblayage par « foudroyage dirigé du toit », fut autorisée moyennant l'usage de tirs d'ébranlement à front des costresses.

La couche Veine A se présente avec une inclinaison moyenne de 15 degrés vers le Midi et avec la composition suivante :

Toit géologique — grès psammitiques.

faux toit . . . . .	0 m. 15	
laie . . . . .	0 m. 15	} de dureté moyenne
laie . . . . .	0 m. 15	
laie . . . . .	0 m. 20	
mur . . . . .	dur	

Puissance = 0 m. 65; ouverture 0 m. 80.

La couche Veine B est inclinée à environ 20 degrés vers le Midi et sa composition s'établit comme suit :

Toit (géologique) . . . . .	0 m. 10	
laie . . . . .	0 m. 20	} charbon dur.
laie . . . . .	0 m. 30	
laie . . . . .	0 m. 30	
mur . . . . .	dur	

Puissance = 0 m. 80; ouverture = 0 m. 90.