

# Le gyromat, un gyrothéodolite de grande précision et son emploi dans l'Eurotunnel

par Norbert KORITTKE et Thomas WUNDERLICH

## 1 - INTRODUCTION

L'Institut de Géométrie souterraine de Westfälische Berggewerkschaftskasse, Bochum, a fourni deux gyrothéodolites du type gyromat à Transmanche-Link (TML), le consortium anglo-français pour la construction du tunnel sous la Manche. Ces gyromats assurent l'orientation correcte du creusement de l'Eurotunnel réalisé des deux extrémités. Entre-temps un troisième gyrothéodolite a été commandé par TML (Grande-Bretagne).

Au surplus l'Institut de Géométrie souterraine réalise des mesures de contrôle principales dans l'Eurotunnel tant du côté français que du côté anglais à intervalles réguliers.

## 2 - LE GYROTHEODOLITE gyromat

Notre institut conçoit et construit des gyromètres depuis 35 ans. C'est depuis cette époque également qu'on effectue, sur demande des clients, des mesures gyroscopiques et de percement.

A ce jour, l'Institut a fait environ 12 000 mesures gyroscopiques dans le cadre de 2 300 commandes extérieures. A présent, le débit de ces mesures est d'environ 600 par an.

Le gyrothéodolite le plus récent et le plus précis développé par l'institut est le gyromat (fig. 1). Nor-

malement, la détermination du nord se fait en observant un certain nombre de points de rebroussement de l'oscillation gyroscopique et c'est pourquoi il faut considérer plusieurs oscillations.

Le gyromat est, au contraire, capable de déterminer le nord d'une façon continue par l'enregistrement automatique d'une seule oscillation à amplitude réduite. Dans ce but, l'oscillation libre du gyrothéodolite est balayée et intégrée en permanence par un système opto-électronique pendant une période  $T$  (voir fig. 2).

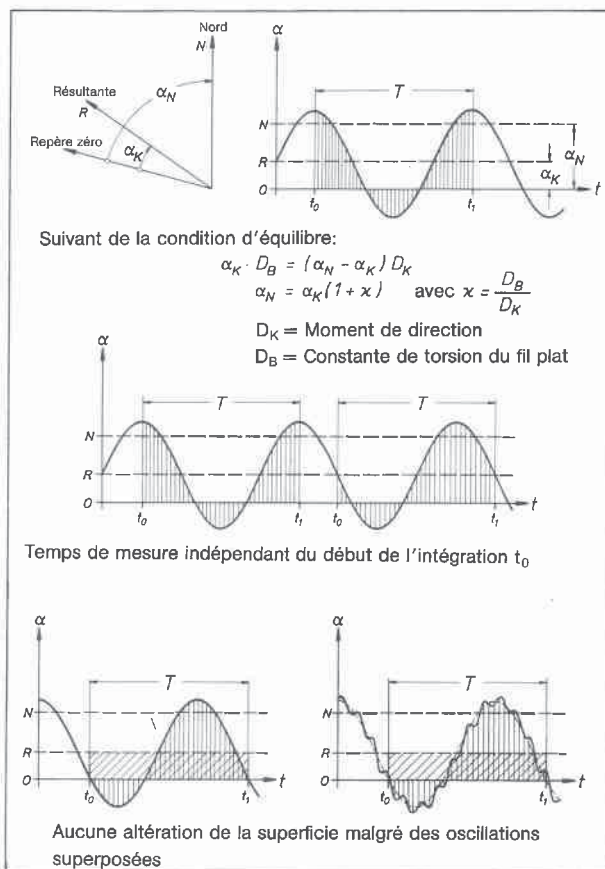


Figure 2 : Procédé d'intégration pour le gyromat.

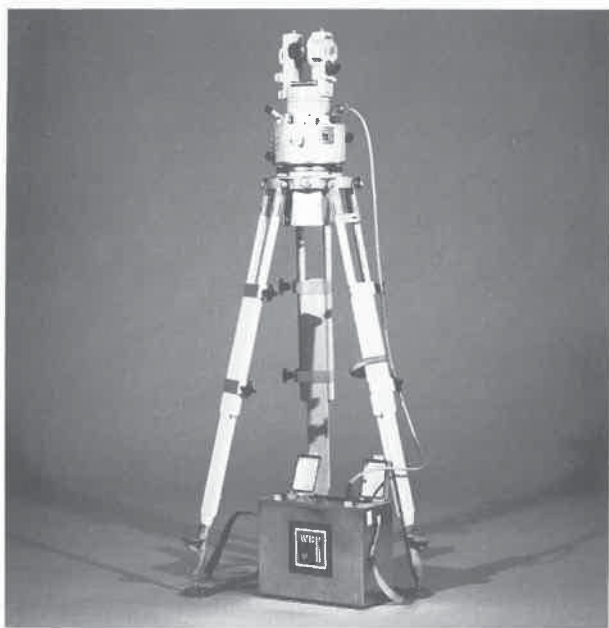


Figure 1 : Le gyrothéodolite gyromat avec groupe électronique.

Le zéro du balayage opto-électronique est déterminé par une orientation préliminaire et itérative. La résultante de la mesure suivante, la position centrale  $R$  de l'oscillation est dérivée des moments de la bande de suspension et du gyromètre. Maintenant, le zéro du balayage montre deux déviations : une déviation  $\alpha_K$  par rapport à l'axe de l'oscillation et une déviation d'orientation  $\alpha_N$  par rapport au nord géographique.

$\alpha_N$ , qui est la déviation d'orientation cherchée ressortit de l'équilibre des moments du gyromètre et de la bande et se calcule par simple multiplication d' $\alpha_K$  avec  $(1 + x)$ .  $\alpha_K$  est déduit du montant de l'intégrale.

Les avantages de ce procédé d'intégration sont évidents :

— Le montant de l'intégrale est indépendant du début de l'intégration, c'est-à-dire qu'on n'a pas besoin d'un point spécifique (préféré) de la courbe d'oscillation. Indépendamment du diagramme temporaire d'oscillation la durée de mesure correspond donc à une seule période d'oscillation  $T$  ou bien au minimum possible qu'il faut pour un gyrothéodolite automatique. La durée d'oscillation  $T$  ne dépend que de la latitude géographique  $B$ , par exemple :

$B = 0^\circ \quad T = 150 \text{ sec}$

$B = 55^\circ \quad T = 170 \text{ sec}$

$B = 75^\circ \quad T = 210 \text{ sec}$

— Le montant de l'intégrale de l'oscillation et, par conséquent, les valeurs respectives d' $\alpha_K$  et  $\alpha_N$  ne sont pas affectées par les oscillations superposées de l'instrument même (fig. 2). Ceci réduit en même temps les influences de perturbations extérieures (p. ex. vibrations de travail au chantier) qui pourraient fausser les résultats de mesure.

Ces perturbations provoquent des dérives d'oscillation qui, de leur côté, inévitablement, produisent une orientation déformée. Dans ce cas les dérives sont identifiées lors de l'intégration des oscillations et indiquées à l'unité électronique.

Voici le procédé de mesure du gyromat :

- mesure du zéro de bande 1 min. env.
- orientation préliminaire et itérative 3 à 4 min. env. entre  $0,05$  à  $0,1$  grade
- mesure gyroscopique ( $B = 45^\circ$  à  $60^\circ$ ) 3 min env.

Durée totale de la mesure 7 à 8 min env.

La déviation d'orientation du limbe par rapport au nord est donc indiquée à l'unité électronique après une durée totale de 7 à 8 minutes.

Les études extensives de Korittke et Schmidt (1986) ont montré une déviation standard de 59 cc comme précision pour la détermination d'azimut par le gyromat.

Donc, le gyromat est un gyrothéodolite de précision dont les caractéristiques sont : courtes durées de mesure, fiabilité et précision supérieure !

### 3 - MESURES DE CONTROLE PRINCIPALES DANS L'EUROTUNNEL

Lors des campagnes de mesure jusqu'ici réalisées par l'Institut de Géométrie souterraine tant du côté français qu'anglais, il est apparu que les mesures du cheminement polygonal dans les tunnels étaient largement affectées par la réfraction latérale. L'angle de réfraction  $\Delta$  (voir fig. 3) atteignait parfois 30 cc.

La seule possibilité d'éliminer l'influence systématique de la réfraction latérale sur l'orientation des cheminements polygonaux est la configuration des mesures représentée dans la figure 3.

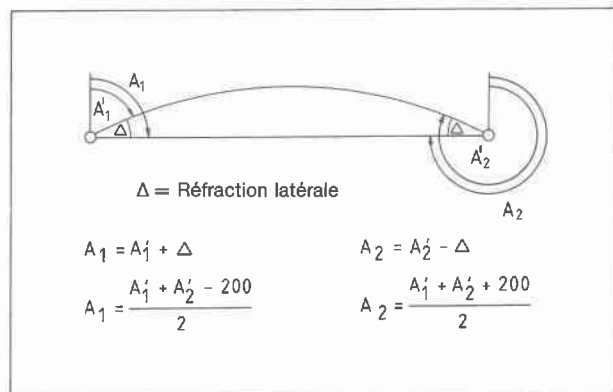


Figure 3 : Configuration de mesure pour éliminer la réfraction latérale lors des mesures gyroscopiques.

Si l'on détermine la direction d'un côté polygonal quelconque par rapport au nord à l'aide de mesures gyroscopiques aux deux points terminaux, on obtient les azimuts correspondants  $A_1$  et  $A_2$ . Néanmoins si l'on tient compte des angles de réfraction  $\Delta$ , les mesures permettent de calculer les azimuts corrects  $A_1$  et  $A_2$ .

Dans les mesures de contrôle principales les responsables de TML exigent une précision maximale pour la détermination de position. Les grands demi-axes des ellipses d'erreur ne doivent pas dépasser de la valeur limite suivante :

$$A_{\max} < 4,4 \cdot 10^{-6} \cdot L \text{ [m]}$$

$L$  = distance totale de mesure (tunnel), en mètres

Ceci veut dire que, pour une distance de mesure de 15 km lorsqu'on approche du percement dans la galerie de service du côté français, le grand axe de l'ellipse d'erreur au dernier point de mesure ne doit pas excéder 6,6 centimètres.

La figure 4 montre une configuration possible pour le contrôle global de positionnement des trois tunnels, côté mer, immédiatement avant le percement. Les trois polygonaux dans chacun des tunnels sont liés entre eux par une galerie sur trois. La distance entre les points est 375 m. Les tolérances suivantes sont supposées pour les mesures dans la polygonale :

- Directions (orientations) :  $\sigma_R < 4 \text{ cc}$
- Distances :  $\sigma_s < (2 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km})$
- Mesures gyroscopiques :  $\sigma_A < 10 \text{ cc}$

Les mesures gyroscopiques sont disposées comme indiqué dans les figures 3 et 4. Quoique les mesures gyroscopiques soient prévues sur chaque

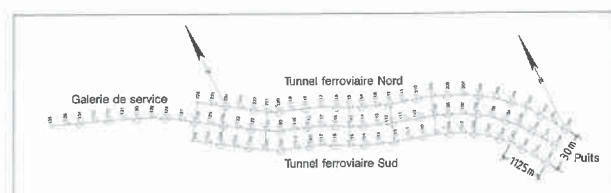


Figure 4 : Configuration de la mesure de contrôle principale peu avant le percement.

sommet, en effet on ne mesure que un côté sur deux des polygones. Ainsi la détection et l'élimination de la réfraction latérale sont suffisamment garanties.

Si l'on calcule une simulation de réseau sur la base des tolérances indiquées et de la configuration de mesure d'après la figure 4, on obtient les mesures de précision sur les résultats. Les ellipses d'erreur correspondantes sont représentées sur la figure 5.

Les cheminements polygonaux sont arrangés parallèlement dans les trois tunnels. Conséquemment les ellipses d'erreur sont parfaitement identiques tant du point de vue orientation que de dimension. Dans la figure 5 elles ne sont guère discernables. L'accroissement des ellipses d'erreur dans la galerie de service jusqu'au point polygonal le plus avancé reste dans des limites justifiables. A ce point-là le grand demi-axe atteint 27 mm ce qui est une valeur nettement en dessous de la précision demandée par les responsables de TML.

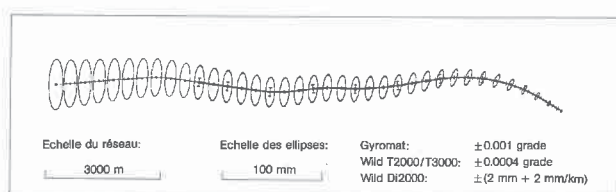


Figure 5 : Simulation de réseaux de la mesure de contrôle principale.

#### 4 - PREVISION PROVISOIRE QUANT AU PERCEMENT DE L'EUROTUNNEL

Il n'y a pas de doute que dans le projet Eurotunnel on s'intéresse à la précision présumée du percement ou bien à l'influence des mesures gyroscopiques sur cette dernière.

Le calcul présenté ici ne considère que les mesures polygonales dans la galerie de service. Cependant, nous ne tenons compte ni de la mesure de réseau de liaison au-dessus de la Manche, ni du transfert des points polygonaux dans le puits près de Sangatte, donc des possibilités d'erreur qui peuvent influencer la précision du percement.

D'avoir choisi la forme géométrique la plus simple pour les mesures du creusement (polygonale simple dans la galerie de service) nous fournit une première estimation de la précision du percement prévu. Avec les deux dernières ellipses d'erreur des polygonales du côté français et anglais nous avons calculé une ellipse commune de percement. Celle-ci permet d'évaluer la précision du percement présumable dans le sens transversal ainsi que longitudinal.

En supposant de nouveau une distance de 375 m entre deux points et une précision constante de mesures, nous avons calculé deux variantes ;

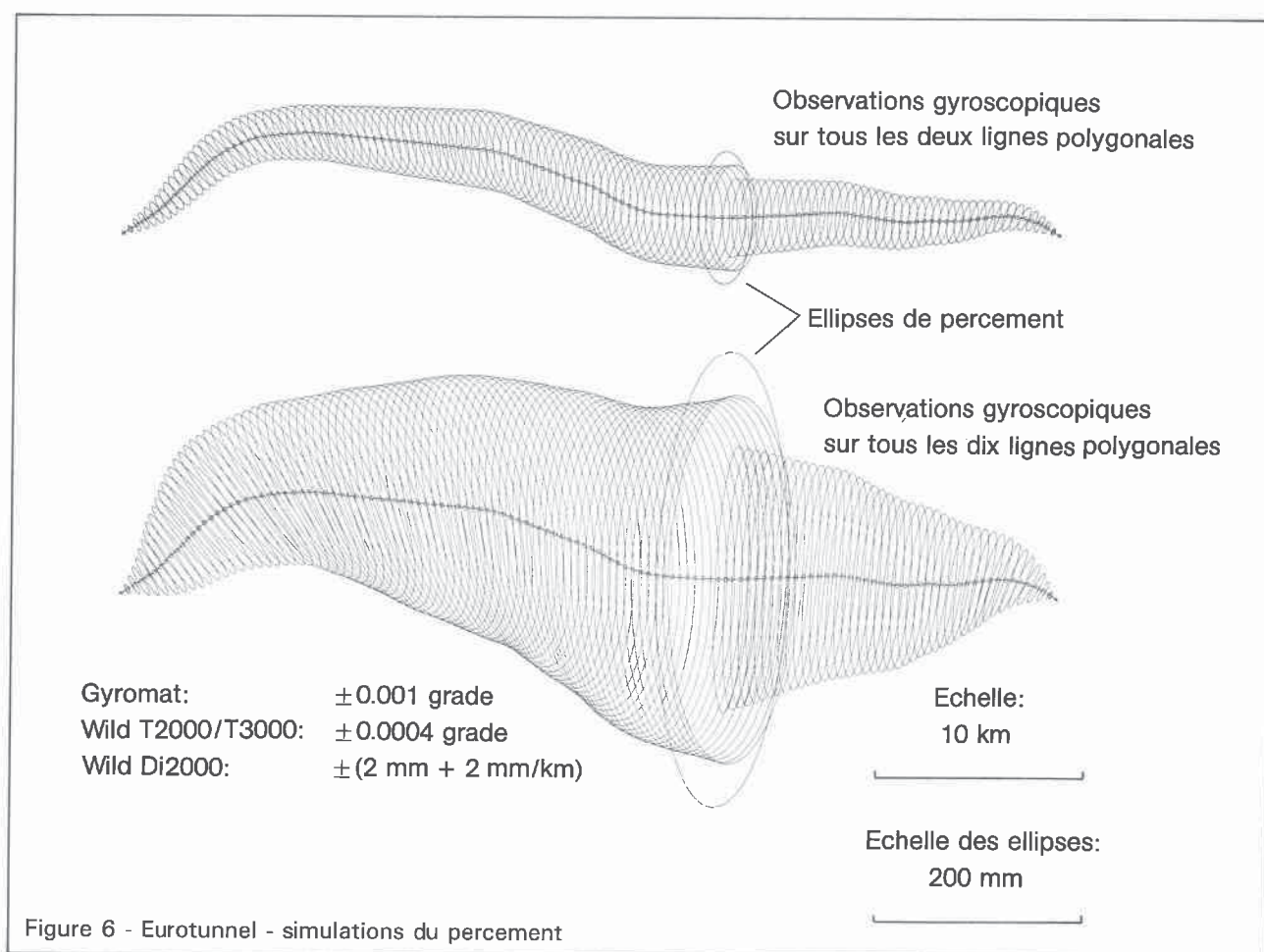


Figure 6 - Eurotunnel - simulations du percement



Mesures gyroscopiques à un sur deux côtés de la polygonale :

- Précision de percement
- Au sens transversal  $\sigma_0 < 63$  mm
  - Au sens longitudinal  $\sigma_L < 26$  mm

Mesures gyroscopiques à un sur dix côtés du polygonal

- Précision de percement
- Au sens transversal  $\sigma_0 < 217$  mm
  - Au sens longitudinal  $\sigma_L < 65$  mm

Les deux simulations de percement possibles, basées sur les ellipses d'erreur sont représentées dans la figure 6. Il en ressort que au cours du creusement des deux côtés de l'Eurotunnel l'erreur de percement sera minimisée par un nombre élevé de mesures gyroscopiques de précision.

## 5. Bibliographie

**Korittke, N.** Die begleitenden Vermessungsarbeiten und das Durchschlags-ergebnis bei der Auffahrung des Förderberges Prosper  
*Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 94 Jg (1987). S 273-281

**Korittke, N.** Ausgleichung und Genauigkeitsuntersuchung von überbestimmten untertägigen Durchschlagsmessungen  
*Das Markscheidewesen*, Jg. 95 (1988). S 133-137

**Korittke, N.** Einsatz des Präzisionsvermessungskreisels Gyromat beim Bau des Eurotunnel  
*X. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung*. München, 1988, Beitrag D4, 12 S.

**Korittke, N. et Schmidt, G.** Rückblick und Genauigkeitsanalysen anlässlich des 2000. Einsatzes mit Vermessungskreiseln der Westfälischen Berggewerkschaftskasse  
*Allgemeine Vermessungsnachrichten*. Jg. 93 (1986). S 235-244

**Wunderlich, Th. et Kugler, R.** Netzentwurf für den Semmering-Basistunnel unter Bedachtnahme auf mehrere Projektvarianten  
*IX. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung*. Graz. 1984 Beitrag D16, 6 S.

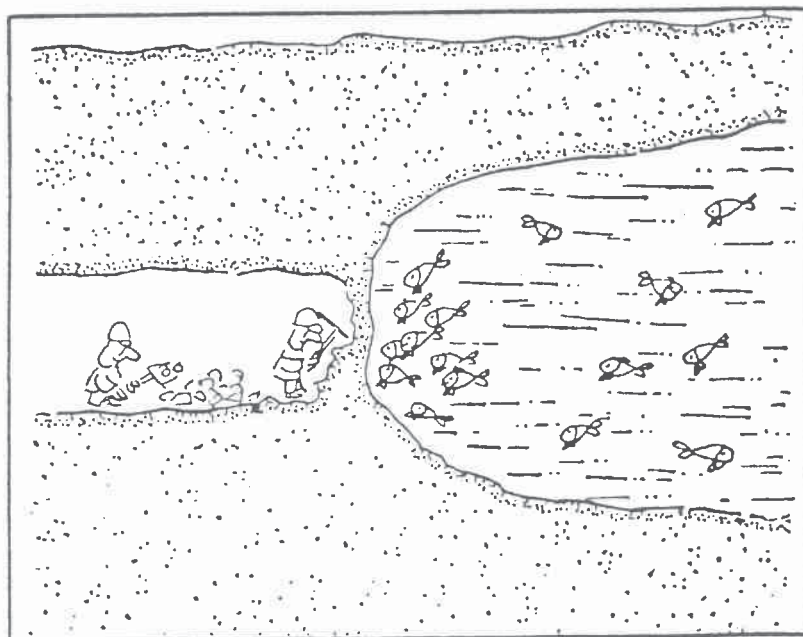
**Wunderlich Th.** "Die voraussetzungsfreie Bestimmung von Refraktionswinkeln", *Geowissenschaftliche Mitteilungen der TU Wien*, Nr 26, 1985, 193S.

### Adresses des auteurs :

**Dipl.-Ing Norbert Korittke.** Institut für Markscheidewesen, Westfälische Berggewerkschaftskasse  
Herner StraBe 45. D-4630 Bochum

**Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Wunderlich,** Institut für Ingenieurgeodäsie, Université Technique de Vienne, GusshausstraBe 27-29. A.1040 Vienne.

\* \* \*



Dessins tirés de "La nouvelle borne hilare", de Martin BÖHM.