

Système de guidage automatisé et calcul de la suite d'anneaux

*Dipl.-Ing. H.-J. MARX, Oberhausen,
Prof. Dr.-Ing. E. JACOBS, Essen
présenté par Prof. Dr.-Ing P. MESENBURG, Essen*

Le développement technique des machines de creusement, leur vitesse d'excavation devant être de plus en plus rapide, exigent des prescriptions de plus en plus rigoureuse ; pour ce qui concerne la coordination géométrique des tracés en plan et des tracés en nature. Pour résoudre les problèmes concernant le pilotage d'un tunnelier, M. MARX, directeur du Bureau d'Etudes H.J. MARX et M. le docteur ingénieur E. JACOBS, professeur à l'Université GH Essen ont développé en coopération un nouveau système de guidage automatique du tunnelier.

Les tunnels de Sangatte font partie des plus longs du monde. Ils sont forés par des tunneliers hydrauliques avec pose d'un revêtement en béton ou en fer au fur et à mesure de l'avancement. Le guidage géométrique exact de ce tunnelier d'environ 15 mètres de long, est un des problèmes les plus difficiles pour le responsable de la topographie, d'autant plus compliqué que l'axe du tunnel n'est pas droit mais décrit un tore dans l'espace (ceci à cause de la géologie et de l'avancement propre de la machine). Le revêtement en béton est constitué d'anneaux préfabriqués soit en béton soit en fonte (de 1 à 2 m) qu'il faut assembler pour constituer au mieux le tore.

Le gros problème géométrique est de concilier la combinaison des anneaux de telle sorte que la courbe constituée respecte l'axe théorique et permette une bonne avance de la machine en évitant les coincements des tunneliers.

Les deux opérations, c'est-à-dire le guidage du tunnelier et la détermination de la suite des anneaux nécessitaient jusqu'à présent des conditions extrêmement difficiles d'opérations "manuelles" du géomètre (précision et fidélité des calculs). Le but était donc, avec l'aide de toutes les possibilités de la technologie moderne, d'élaborer un système automatique de guidage du tunnelier. Le résultat des recherches est le système TUMA.

La vitesse d'avancement et les données géométriques nécessitent des données d'exécution disponibles en temps réel et d'une façon complètement automatique.

Avec l'aide de la société Géodimeter, dont le siège est en Suède, nous avons mis en place un théodolite motorisé qui par un rayonnement infrarouge est en mesure de rechercher et de viser exactement un prisme de référence en prenant la mesure des angles horizontaux et verticaux, ainsi que la distance.

Le théodolite motorisé est une partie du nouveau système de guidage automatique du tunnelier, qui se compose aussi d'un ordinateur, de deux inclinomètres électroniques, de quatre appareils à ultrasons et d'un software confortable.

Le mode opératoire du système peut se décrire de la façon suivante :

1. Le tracé théorique en X, Y, Z est mémorisé dans l'ordinateur ainsi que la définition en plan et en profil des courbes.

2. Les coordonnées X, Y, Z de la station du théodolite sont à déterminer avec une haute précision, voire même par contrôles au gyroscope.

3. Le théodolite motorisé suit pendant l'avancement d'une façon permanente le prisme à réflexion totale et prend des mesures à intervalles définis par avance et enfin transmet toutes ces observations à l'ordinateur.

4. En même temps le tangage et le roulis mesurés par des clinomètres en poste fixe sur la machine sont transmis, à la demande, à l'ordinateur.

5. Le programme de calcul détermine les coordonnées X, Y, Z du point visé (le prisme à réflexion totale) et en tenant compte de l'inclinaison réelle transversale et longitudinale et calcule les coordonnées du point avant de l'axe du tunnelier.

6. En composant les coordonnées réelles de la machine et les coordonnées du tracé théorique on peut en déduire immédiatement les écarts horizontaux et verticaux de l'axe réel du tunnel foré. Ceux-ci sont indiqués sur un graphique sous la forme d'un spot lumineux et numérique apparaissant à l'écran dans la cabine de pilotage et au bureau situé en surface.

7. Le chef de poste surveille le bon avancement géométrique en faisant son possible pour maintenir confondus le spot lumineux et l'axe du système d'origine du graphique ceci dans le meilleur des cas. D'une façon plus générale il essaie de situer son spot à l'intérieur du cercle de tolérance défini ($r = 50 \text{ mm}$).

8. L'ordinateur détermine en plus la tendance de l'avancement et par-là même l'écart probable dans les 10 mètres. Le chef de poste a donc maintenant tous les éléments pour rectifier au plus tôt sa trajectoire et réorienter au mieux son tunnelier.

9. Les conditions géologiques, la poussée sur les verins ont tendance à donner au tunnelier des écarts horizontaux et verticaux.

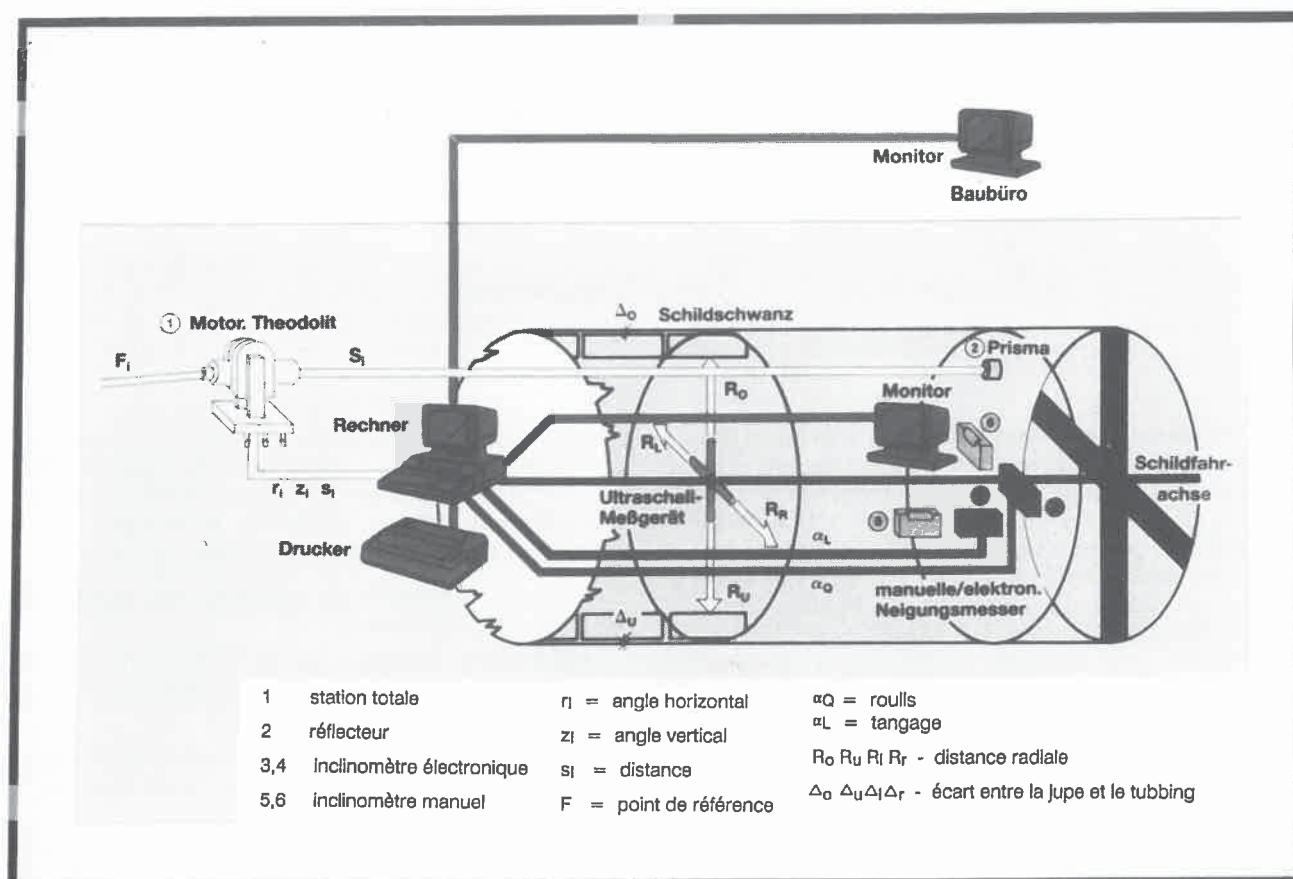


Figure 1 : Le système de guidage automatisé selon MARX.

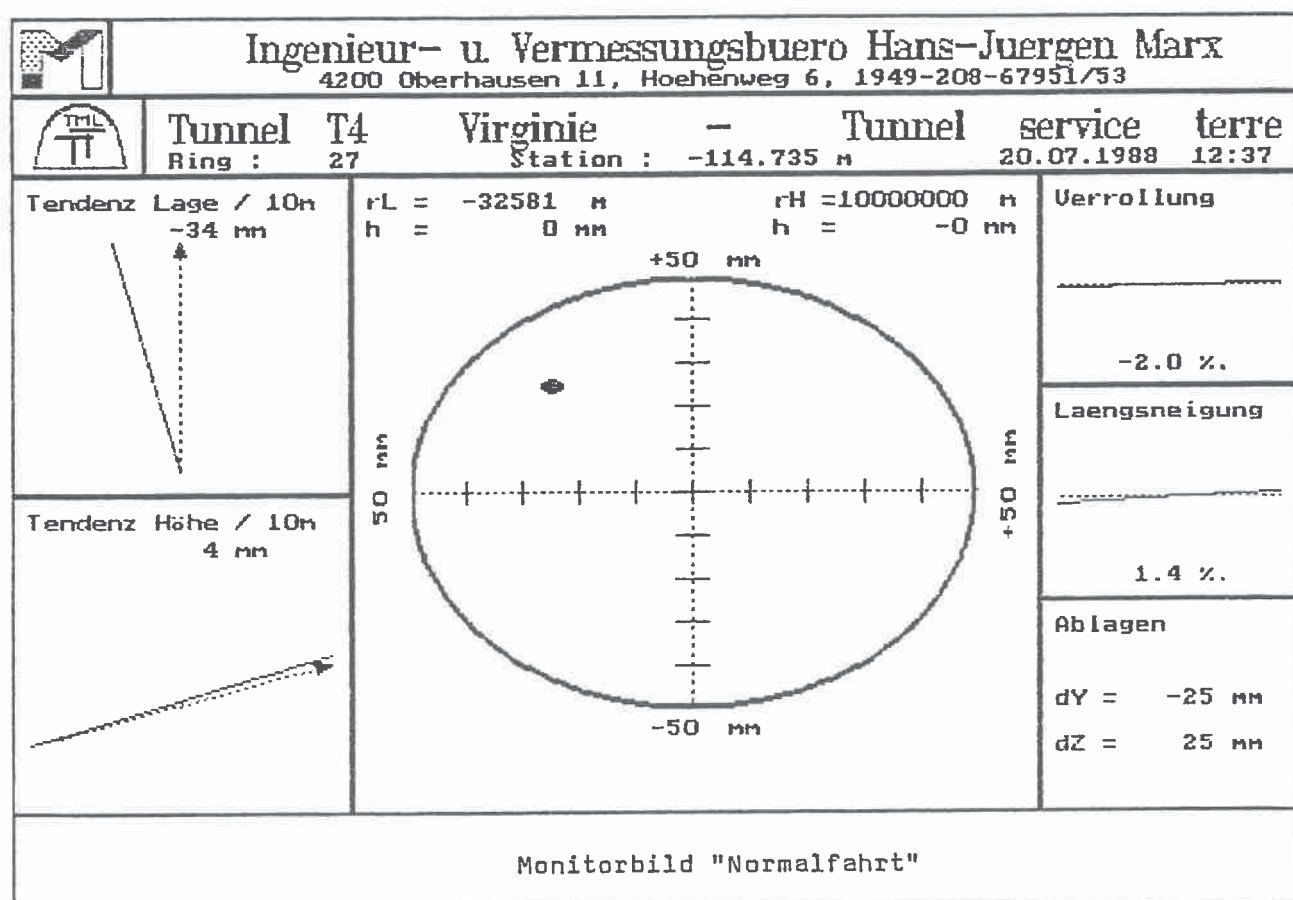


Figure 2 : Les écarts horizontaux et verticaux de l'axe réel du tunnel foré à l'écran.

Si on corrigeait avec une force brutale, c'est-à-dire avec des poussées surélevées, le tunnelier aurait tendance à venir s'échouer dans la roche. Il faut donc que le chef de poste guide le tunnelier en douceur, en corrigeant faiblement les écarts. C'est pourquoi il est important de connaître en permanence la position et la tendance de la machine.

Dès que l'ordinateur reconnaît que la tolérance définie intérieurement va être dépassée, il détermine lui-même une trajectoire de forme cosinoïde, qui selon la grandeur des écarts ramène le tunnelier tangentiellement après 10 à 30 mètres d'avancement.

10. Des appareils à ultrasons, installés dans le tunnelier mesurent avant chaque pose d'anneaux les distances radiales entre le revêtement intérieur et la jupe de la machine de façon à empêcher le décentrement du béton par rapport à la machine et de la sorte, en prenant compte les anneaux en cours d'alimentation, donne un nouveau calepinage des anneaux plus favorable au montage. On peut donc optimiser la suite d'anneaux tout en se rapprochant au plus près de l'axe théorique et dans des conditions mécaniquement confortables supprimant le frottement entre la jupe et le revêtement.

Cette suite d'anneaux est visible à l'écran et également sur l'imprimante de façon à assurer l'intendance de l'approvisionnement.

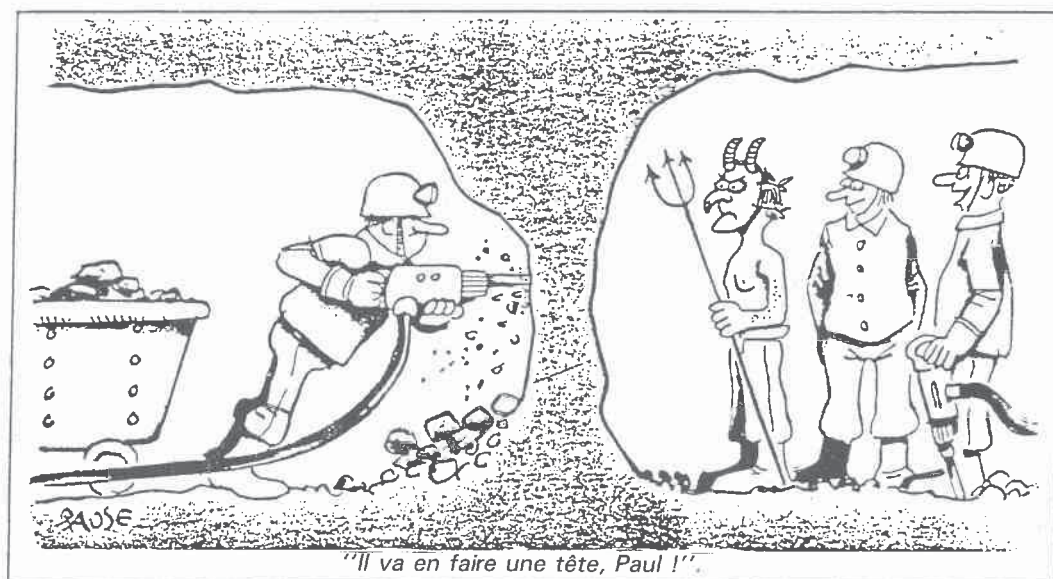
11. Toutes ces informations sont mémorisées et apparaissent sous forme de tableaux donnant les écarts, le P.M., la date et l'heure, nom du chef de poste, type d'anneau, facilitant en partie le rapport de poste sur le plan géomètre.

L'intégration de nombreux composants dans le système nous ont amenés à des contrôles de vraisemblance. Toutes les valeurs sont testées, en cas de dépassement ou d'in vraisemblance, un module d'interrogation des valeurs est mis en route. Si cette interrogation et ces valeurs sont confirmées, l'on peut introduire manuellement toutes les observations.

Tout le système est dans chacune de ses fonctions échangeable. Le théodolite motorisé peut être remplacé à tout moment par un tachéomètre électronique (mesure angles et distances), des inclinomètres manuels sont montés en parallèle avec les inclinomètres électroniques. Une panne d'appareils à ultrasons déclenche par le programme une prise de mesure manuelle.

Le système TUMA, système de guidage automatique a subi sa première épreuve sur le chantier TML, côté France et est certainement pour beaucoup dans l'obtention du record du monde d'avancement des tunneliers en mars 89. Par l'emploi combiné du gyroscope et du système de guidage automatique TUMA, la différence entre le tracé projeté et le tracé réalisé fut de l'ordre d'un centimètre, ce qui est vraiment une précision formidable.

* * *



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