

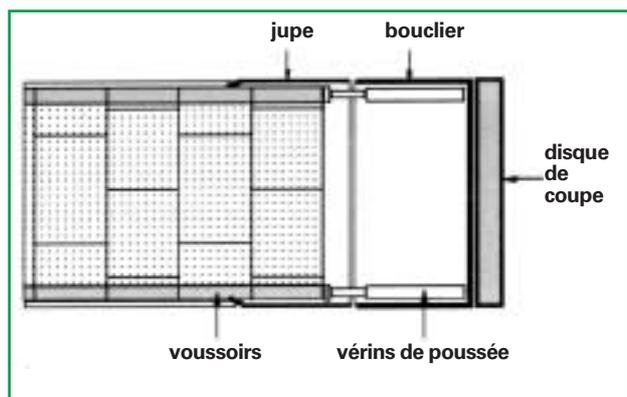
# La conduite des tunneliers par ordinateur

G. Piquereau C.A.P.  
Conception d'Automates de Pilotage

**Chacun peut mesurer les progrès réalisés, en quelques années, dans sa propre discipline, grâce au développement des techniques informatiques. Outil de communication devenu quasiment universel, l'informatique permet, de plus, d'établir des ponts entre les différentes disciplines ouvrant ainsi de vastes domaines d'innovations.**

Le pilote automatique de tunnelier "CAP" en est un exemple, qui associe, par un lien informatique, les systèmes automatiques de relevé topographique aux commandes électroniques des circuits hydrauliques des tunneliers.

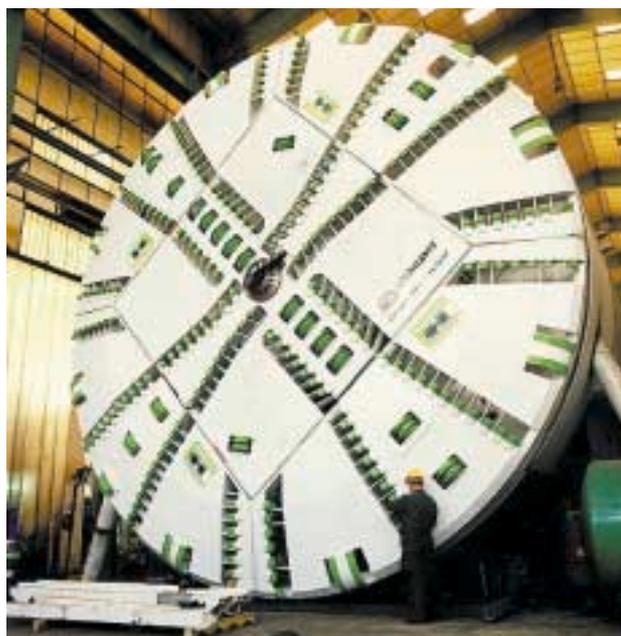
fig.1 : schéma du tunnelier à confinement



Comme son nom l'indique, un tunnelier est un engin de percement de tunnel. Il comprend (Fig.1) un "disque de coupe" porté par un "bouclier", cylindre métallique propulsé par des vérins hydrauliques et tirant une "jupe" à l'abri de laquelle sont assemblés les anneaux de voussoirs préfabriqués constituant le revêtement du tunnel.

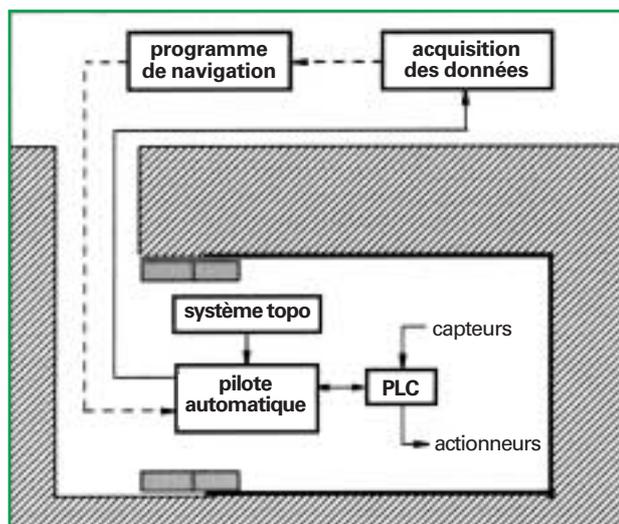
Les vérins de poussée prennent appui sur les voussoirs du dernier anneau posé. La progression du tunnelier s'effectue en deux phases successives : tout d'abord, la machine avance sur la longueur d'un anneau, en creusant le sol au moyen du disque de coupe, puis, à l'arrêt, les voussoirs d'un anneau sont mis en place en rétractant les vérins de poussée.

Les anneaux de voussoirs constituent un cylindre. Mais leurs faces d'appui ne sont pas parallèles ; en faisant



tourner l'anneau sur sa face d'appui on réalise un tunnel courbe de manière à suivre le tracé désiré en planimétrie et en altimétrie. En conséquence, l'implantation du tunnel en construction résulte, d'une part, du guidage de la machine pendant ses phases d'avancement et creusement, et, d'autre part, du choix du sens de pose des anneaux de voussoirs.

fig.2 : le système CAP



Le système CAP (fig.2) comprend un logiciel d'aide à la navigation, un pilote automatique et une chaîne d'acquisition de données.

Le pilote automatique CAP est un ordinateur embarqué qui, à partir des informations issues des capteurs installés sur le tunnelier et du système topographique, agit sur les commandes de la machine et alimente une banque de données déportée.

En matière de guidage les tâches à réaliser sont de deux ordres :

- la navigation, confiée à un géomètre-navigateur ;
- le pilotage, confié au pilote de la machine.

## La navigation

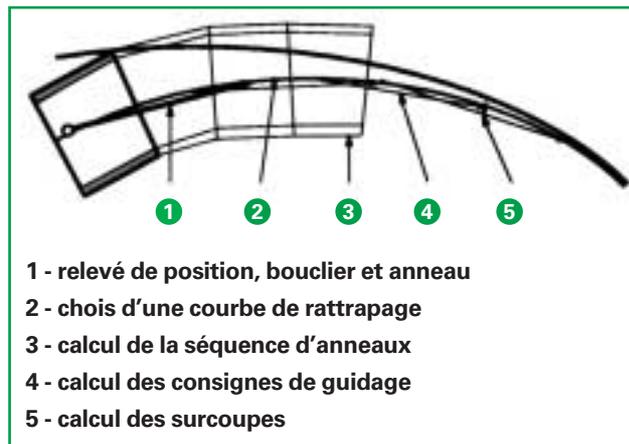
La navigation regroupe l'ensemble des opérations topographiques, polygonation en tunnel et relevés de cibles solidaires du bouclier, pour le positionnement périodique du bouclier et du tunnel construit par rapport au tracé théorique.

La navigation comprend aussi l'établissement de consignes de guidage pour le pilote de la machine, consignes qui correspondent à la trajectoire que l'on veut voir suivre par le tunnelier, et qui, pour cette raison, prennent en compte le comportement réel du bouclier et ses capacités à prendre des courbes.

## Les relevés de position

Dans les systèmes les plus récents, les relevés de position du tunnelier sont effectués automatiquement au

fig.3 : Le logiciel de navigation



moyen d'un théodolite vidéo-asservi (système DPS, VMT...) utilisant des prismes ou des cibles sensibles installés sur le bouclier et associé à des inclinomètres.

Ces relevés donnent la position de l'axe du bouclier par rapport au tracé théorique. L'analyse des relevés successifs permet, de plus, de mettre en évidence le comportement du bouclier (dérive et tangage) sans la connaissance duquel toute prévision de trajectoire est irréaliste.

## Les consignes de guidage :

Le logiciel de navigation associé au pilote automatique permet de réaliser les opérations suivantes (fig.3) :

- à partir du relevé topographique journalier du bouclier et du dernier anneau posé,
- choix du tracé de rattrapage des écarts constatés, tracé compatible avec les capacités du tunnelier et celles des anneaux de voussoirs,
- calcul de la séquence correspondante des anneaux à monter,
- calcul des positions successives à donner au bouclier,
- calcul des surcoupes à réaliser pour permettre au tunnelier de suivre les courbes demandées.

Il existe deux possibilités pour traduire les positions successives du bouclier (4) en consignes de guidage :

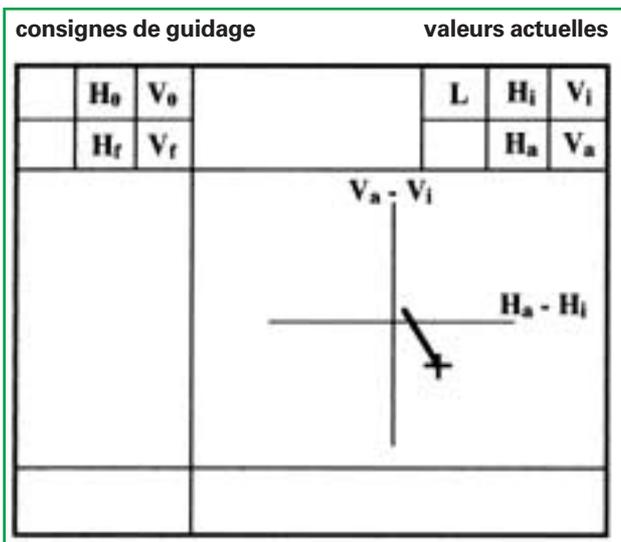
- soit l'on utilise les écarts successifs de position de la tête du bouclier : le pilote doit alors disposer à tout instant du relevé topographique ;
- soit l'on utilise les écarts d'allongement des vérins de poussée correspondant aux positions successives du bouclier et des anneaux de voussoirs servant d'appui ; ces écarts d'allongement seront alors comparés à ceux mesurés par des capteurs installés sur les vérins de poussée.

Dans le second cas, l'utilisation d'un système topographique de relevé est toujours nécessaire, mais elle peut n'être que périodique, et l'interruption momentanée de son fonctionnement, accidentelle (encombrement du milieu) ou volontaire (changement de station) n'empêche pas la marche du tunnelier.

Avec des capteurs au 1/10<sup>e</sup> de mm, la précision du système de guidage est telle qu'après une journée d'avancement l'écart est du même ordre de grandeur que l'imprécision topographique des relevés de position. Les deux mesures se vérifiant l'une l'autre, on obtient un gain significatif dans la précision d'implantation de l'ouvrage.

**Dans les systèmes les plus récents, les relevés de position du tunnelier sont effectués automatiquement au moyen d'un théodolite vidéo-asservi (système DPS, VMT...) utilisant des prismes ou des cibles sensibles installés sur le bouclier et associé à des inclinomètres. Ces relevés donnent la position de l'axe du bouclier par rapport au tracé théorique. L'analyse des relevés successifs permet, de plus, de mettre en évidence le comportement du bouclier (dérive et tangage) sans la connaissance duquel toute prévision de trajectoire est irréaliste.**

fig.4 : l'écran du pilote



### Le pilotage

#### L'outil de guidage du pilote :

Le pilote dispose de l'écart entre les valeurs mesurées, par le système de relevé ou les capteurs d'allongement, et les valeurs de consigne (fig.4). Mais son véritable indicateur de guidage est la variation instantanée de cet écart, représentatif du mouvement "instantané" du bouclier par rapport à sa trajectoire de consigne.

Cet indicateur, en mesurant quasi immédiatement l'effet de l'action qui vient d'être engagée, permet une grande finesse de pilotage. Sa précision va de pair avec une grande sensibilité des appareils et une courte période (<10 s.) de rafraîchissement des mesures, ce que permettent les plus récents systèmes.

#### La commande des pressions des vérins :

L'action de guidage consiste à agir sur les pressions respectives des vérins de poussée pour orienter le bouclier,



**Avec des capteurs au 1/10<sup>e</sup> de mm, la précision du système de guidage est telle qu'après une journée d'avancement l'écart est du même ordre de grandeur que l'imprécision topographique des relevés de position. Les deux mesures se vérifiant l'une l'autre, on obtient un gain significatif dans la précision d'implantation de l'ouvrage.**

pendant sa progression, dans la direction souhaitée.

Le pilote automatique répartit les pressions dans les vérins de manière régulière (fig.5) et de telle sorte que le tunnelier rejoigne et se maintienne sur la trajectoire désirée.

Utilisé sur plus d'une vingtaine de tunneliers à ce jour, le système a montré que l'on pouvait conduire les tunneliers à 20 mm près, la part due au pilote dans l'imprécision du guidage ayant quasiment disparue. ●

fig.5 : répartition de la poussée

