

Le tunnel sous la Manche

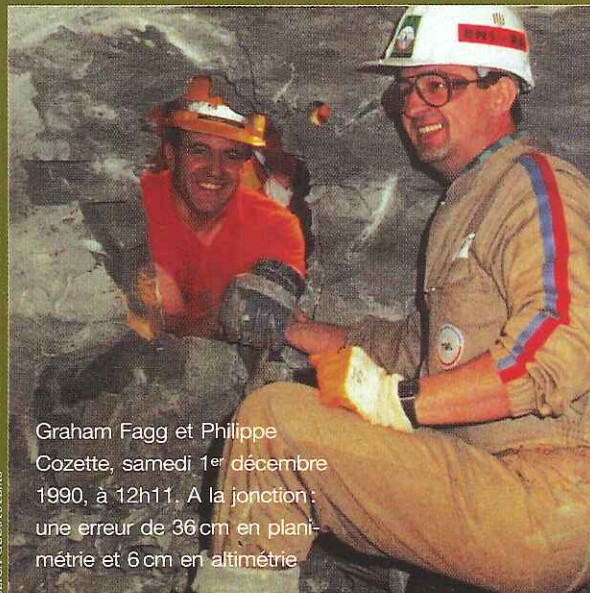
Un des plus extraordinaires chantiers topométriques du XX^e siècle est celui du tunnel sous la Manche, dont le percement a été terminé en juin 1991. Il s'agit aussi d'un ouvrage de génie civil souterrain absolument majeur, mais c'est d'abord un exploit métrologique, mené sous la houlette de Jean-Jacques Morlot, le responsable topographique pour la partie française du tunnel.

Michel Kasser

Responsable de la géodésie à l'IGN

Quelques chiffres tout d'abord : trois tunnels parallèles de 50,5 km de long, entamés simultanément depuis les deux extrémités, avec deux puits d'accès intermédiaires aux abords immédiats de chaque côte, distants de près de 38 km. Un objectif majeur : raccorder les deux tunnels à mieux que 50 cm près. Et ceci en n'ayant pas le même référentiel altimétrique entre la France et la Grande-Bretagne, ni le même référentiel planimétrique. Différents problèmes se sont posés : le raccordement des référentiels planimétriques ; celui des référentiels altimétriques ; la descente des référentiels de surface vers le fond dans les puits d'accès intermédiaires... Enfin, et surtout, il fallait effectuer une polygonale extrêmement précise pour guider au mieux les deux tunneliers, dans des conditions de réfraction latérale particulièrement défavorables.

Si une campagne de mesures GPS menée fin 1987 par l'IGN a permis assez aisément de résoudre le premier point (encore qu'à cette époque, le GPS était loin d'être facile à pratiquer, il y avait peu de satellites, pas d'orbites précises, le matériel était encore de type semi-prototype, ne travaillant souvent que sur une seule fréquence, les logi-

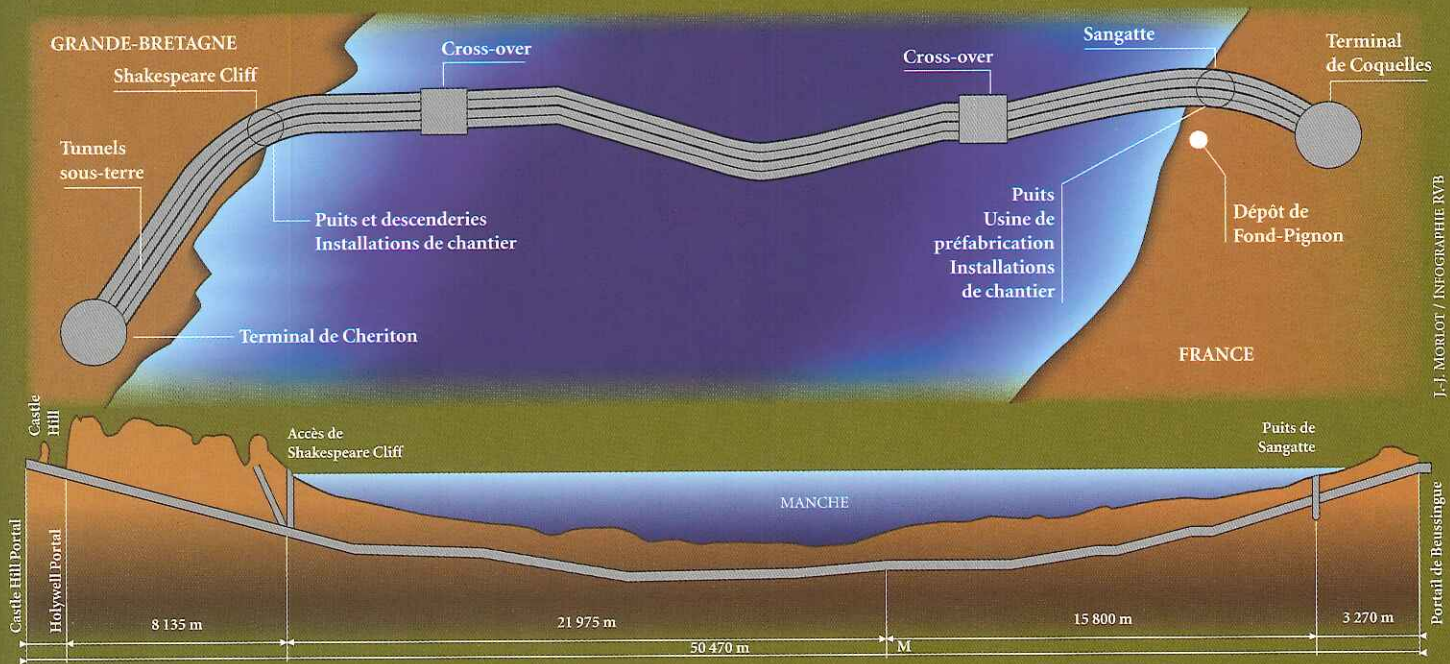


Graham Fagg et Philippe Cozette, samedi 1^{er} décembre 1990, à 12h11. A la jonction : une erreur de 36 cm en planimétrie et 6 cm en altimétrie

LEICA GEOSYSTEMS

ciels de calculs étaient encore peu performants...), le deuxième problème était par essence beaucoup plus délicat puisque aucune mesure directe ne permettait de créer un lien altimétrique précis. Il a alors fallu combiner des résultats d'études très diverses, des mesures marégraphiques de part et d'autre de la Manche (mais quels sont les systématismes dus aux courants, très rapides dans cette région, ou encore dus aux vents?) et des mesures GPS (mais quelle est l'ondulation du niveau zéro, le géoïde étant connu à guère mieux qu'un décimètre?).

La descente des référentiels de surface vers le fond dans les puits d'accès intermédiaires a présenté également de grandes difficultés, même si d'autres chantiers avaient déjà permis d'atteindre de tels niveaux de précision. L'objectif est de disposer d'un référentiel au niveau du tunnel, au bas des puits d'accès (45 m sous la surface), qui soit cohérent avec celui de surface, en planimétrie et en altimétrie, mais surtout en orientation. La cohérence en planimétrie et altimétrie ne pose guère de problèmes, il est même assez facile d'être, dans cette opération de rattachement, bien plus précis que le référentiel lui-même. C'est



J.-J. MORLOT / INFOGRAPHIE RVE

Portail de Beausine

ainsi que la précision des opérations a pu atteindre 1 mm environ, alors que le référentiel n'était précis qu'à quelques centimètres près. Cette orientation repose sur des visées très courtes (quelques dizaines de mètres, soit la dimension maximale des visées possibles dans les bords de ces puits très encombrés par ailleurs), les gyrothéodolites précis n'étant pas encore disponibles. Ceci implique effectivement la meilleure précision possible sur les coordonnées des points au fond de chaque puits; ici quelques dixièmes de millimètres. Ainsi l'orientation de surface a été transférée au fond avec un écart type de 0,6 mgr, ce qui est tout à fait remarquable, par l'emploi judicieux de théodolites avec oculaires coudés en visée quasi-verticale.

Enfin, le quatrième point, particulièrement critique, est celui des polygonales de très haute précision, qui ont permis le guidage des tunneliers. Les activités de transport de matériaux en aval du front de taille sont telles que les topographes ne peuvent dans certains cas utiliser qu'un espace extrêmement réduit (6 cm) le long des parois du tunnel. Dans ces conditions, les repères utilisent un centrage forcé avec une console amovible. Le problème essentiel rencontré sur un tel chantier est que certaines visées optiques sont très proches des parois, parfois sur des distances importantes. Et il est impossible d'éviter que l'air ne présente une température assez différente de celle des parois, ce qui crée inévitablement un assez fort gradient thermique horizontal dans la zone de visée. On peut rappeler ici qu'un gradient de température dans l'air de 1° par décimètre engendre un rayon de courbure de 100 km pour la visée, donc un changement de direction lorsqu'on traverse ce gradient pendant 10 m de 0,1 mrd, soit 6 mgr. Dans de telles conditions, obtenir une polygonale très précise relève de la gageure et exige des moyens tout à fait particuliers.

En premier lieu, la polygonale a été conçue sous forme de modules de 375 m de long formés de 6 points principaux, aussi symétriques que possible, par rapport aux effets de rasance le long des parois et donc de réfraction latérale. La compensation de chaque figure ainsi observée en angles et distances donne une géométrie qui

est très peu sensible à cette réfraction latérale. Les différents instruments ont fait l'objet d'étalonnages réguliers et particulièrement soignés, comme bien peu de chantiers le pratiquaient alors.

Par ailleurs, sur 4 de ces 6 points, une mesure est effectuée avec un gyrothéodolite. Quel est cet appareil? Il s'agit d'associer à un théodolite précis une toupie tournant à une vitesse élevée autour d'un axe horizontal. Elle est suspendue par un ruban vertical qui lui laisse la possibilité d'osciller dans le plan horizontal, mais pas de pencher pour s'aligner sur l'axe de rotation de la Terre comme un gyroscope a naturellement tendance à le faire. Cette contrainte apportée par le ruban, qui ne permet pas à son axe de s'incliner, l'amène à effectuer une oscillation de précession autour du méridien local. Avec des procédures appropriées, on parvient ainsi à retrouver la direction du nord vrai sans aucune référence optique externe. Dans le cas du tunnel sous la Manche, c'est une équipe allemande (institut des mines de Bochum) qui a développé un nouveau gyrothéodolite particulièrement précis (le Gyromat, d'écart type 1 mgr), et assez peu sensible aux inévitables vibrations d'un tel chantier. Dans ces conditions, chaque module de la polygonale est systématiquement réorienté indépendamment des modules voisins. C'est à la conjonction de ce matériel remarquable et d'une figure de base conçue avec soin, que l'on doit la qualité des résultats obtenus.

A l'heure de la jonction, l'habituelle discrétion des géomètres a fait passer au second plan le mérite de l'incroyable performance obtenue: les deux équipes se sont retrouvées l'une en face de l'autre avec une erreur de 36 cm en planimétrie, 6 cm en altimétrie, au bout de 38 km de cheminements, sachant qu'une faute de guidage des tunneliers aurait entraîné des conséquences gigantesques sur ce chantier pour lequel aucun retour en arrière n'était techniquement possible. De quoi faire passer des frissons dans le dos des responsables. Ce genre de résultats représente a posteriori un véritable tour de force. Sans doute un des plus grands rencontrés jusqu'ici dans ce domaine... ■