



LE NOUVEAU TUNNEL DE HUY

DANS un article paru dans cette revue en février 1968, nous avons expliqué pourquoi, en vue de l'électrification de la ligne Liège-Namur, il était nécessaire de construire un nouveau tunnel à double voie pour remplacer l'actuel tunnel de Huy à simple voie. L'histoire mouvementée de l'ancien tunnel y était rappelée, depuis sa construction à double voie en 1847 jusqu'à sa mise à simple voie en 1904. De ce récit, il apparaissait que le terrain dans lequel fut creusé ce tunnel est extrêmement dangereux, qu'il se met facilement en mouvement et qu'il exerce des poussées considérables sur les ouvrages.

Les travaux de construction du nouveau tunnel se présentaient donc a priori comme très difficiles par la nature du terrain, la proximité du tunnel en service, le peu de couverture des terres au-dessus de l'extrados, la présence d'habitations en surface et l'importance à donner à la section du tunnel.

Une étude approfondie de la structure et des propriétés des terrains rencontrés étant d'importance capitale dans de tels travaux, nous avons fait appel pour cette étude à M. De Beer, professeur à l'Université de Gand, spécialiste de renommée internationale en mécanique des sols

Nature des terrains.

Les forages de reconnaissance effectués ont montré que le terrain est principalement constitué de schiste silurien fortement fissuré, présentant de nombreux glissements, traversé de cassures remplies de roches altérées plus ou moins transformées en argile.

L'inclinaison générale des couches varie de 20 à 65° en direction du sud, donc presque perpendiculairement à l'axe du tunnel.

Pour déterminer les propriétés caractéristiques des roches rencontrées, de nombreux essais furent effectués soit en laboratoire, soit « in situ ». Parmi ces derniers, citons entre autres :

- Des essais Lugeon pour mesurer la perméabilité des roches : celle-ci s'est révélée très faible ;
- Des essais pressiométriques permettant de déterminer la déformation des roches en fonction de la pression exercée. Les valeurs obtenues du module pressiométrique sont en général faibles, parfois inférieures aux valeurs mesurées dans l'argile de Boom.

En laboratoire, les carottes extraites des forages furent soumises à divers essais pour déterminer les propriétés physiques et chimiques des échantillons et leur structure minéralogique. Signalons :

- Des essais de compression sur prisme. Ceux-ci donnèrent pour les parties les plus saines des résistances très variables comprises entre 17 et 235 kg/cm². Cette grande dispersion est due à l'orientation des fissures dans les échantillons ;
- La mesure de la résistance de la roche sollicitée parallèlement à son plan de schistosité ;
- Des essais de gonflement en présence d'eau et des essais diffractométriques aux rayons X. Les résultats obtenus permettaient de classer une partie des échantillons essayés parmi les roches gonflantes ou expansives. Ce genre de terrain est caractérisé par des pressions considérables sur les ouvrages ;
- Des essais de désagrégation de la roche par immersion dans l'eau. Il était remarquable de voir des morceaux de carottes, qui à l'état sec semblaient sains et durs, se fragmenter rapidement en formant une boue noirâtre : cinq minutes suffisaient parfois pour que la désagrégation soit complète ;
- Des analyses des eaux rencontrées au cours des forages ont montré que celles-ci étaient assez riches en sulfate et, par conséquent, agressives pour les bétons.

Conclusions tirées

de l'étude des terrains.

Le nouveau tunnel de Huy doit être construit dans un schiste fortement fissuré ayant subi des altérations plus ou moins profondes.

L'ensemble des terrains est bréchique, c'est-à-dire que la roche se casse aisément en menus débris. Le schiste rencontré se désagrège rapidement au contact de l'eau ; il peut être classé parmi les roches fluantes, certaines zones pouvant être expansives.

Compte tenu des caractéristiques de cette roche et de l'épaisseur de la couverture des terrains au-dessus du tunnel (maximum 15 m), on pouvait déduire que celui-ci devait être calculé pour supporter des pressions verticales de 40 tonnes par m^2 et des pressions horizontales considérables pouvant éventuellement être égales aux pressions verticales. À titre de comparaison, ces charges correspondent à celles exercées par une colonne d'eau de 40 m de hauteur ; elles sont plus de dix fois plus grandes que celles admises pour le calcul des ponts-rails.

Données du problème.

- La section du pertuis découle évidemment du gabarit à respecter pour une double voie électrifiée (voir fig. n° 1).
- Le tunnel doit être établi en courbe de 409 m de rayon. L'entre-distance des tunnels ancien et nouveau varie entre 4 m et 20 m, elle est minimale à la tête côté Liège (voir fig. 2, page 8).
- Etant donné la nature du terrain et les pressions considérables à supporter, M. De Beer, se référant aux travaux de M. Terzaghi, spécialiste américain en mécanique des sols et en travaux de construction de tunnel, préconisait d'adopter pour le revêtement une forme complètement circulaire.
- L'ouvrage doit être conçu et exécuté de manière à réduire au maximum les mouvements de terrain car, une fois ceux-ci amorcés, les poussées augmentent fortement.

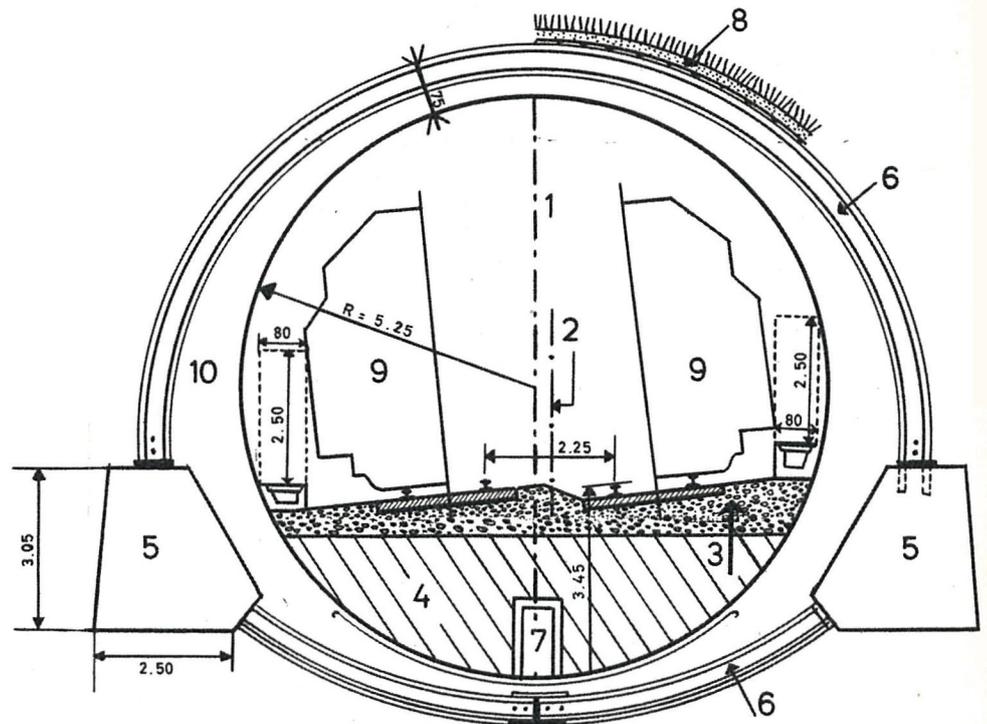


Fig. 1 : 1. Axe du tunnel ; 2. Axe de l'entre-voie ; 3. Ballast ; 4. Matériaux perméables ; 5. Galeries de piédroits ; 6. Poutres HE 340 B (cintres) ; 7. Caniveau central ; 8. Injection de ciment entre la roche et les plaques de blindage ; 9. Gabarit au droit des voies en courbe ; 10. Plaques de blindage.

La solution adoptée comprend :

- La construction de deux massifs de piédroits en béton (fig. 1, voir 5) ;
- S'appuyant sur ces massifs, la pose de cintres métalliques circulaires tous les mètres (voir 6). Ces cintres sont constitués de poutrelles Grey de 34 cm de hauteur. Des tôles métalliques de blindage supportent les terres ; elles s'appuient sur les cintres ;
- La pose de cintres métalliques de radier pour contrebuter les piédroits ;
- L'enrobage des cintres dans un revêtement en béton de 75 cm d'épaisseur minimum ;
- La construction d'un caniveau pour l'évacuation des eaux (voir 7) ;
- Le remblayage jusqu'au niveau du ballast avec des matériaux perméables (voir 4).

Les travaux ont été adjugés à la firme Franki, de Liège, qui les a exécutés suivant la méthode de creusement et avec les moyens décrits ci-après.



Première phase : creusement des galeries de piédroits.

Deux galeries de piédroits sont creusées simultanément. La section de ces galeries est d'environ 10 m². Des cadres métalliques constitués de profilés de 22 cm de hauteur sont posés tous les mètres au fur et à mesure de l'avancement.

Des tôles métalliques de blindage sont glissées entre ces cadres et le terrain encaissant; l'espace vide entre le terrain et le blindage est immédiatement comblé à l'aide de pierres damées. Au cours de cette phase, les venues d'eau ne furent pas particulièrement abondantes, mais elles étaient tout de même suffisantes pour transformer le sol de la galerie en boue épaisse gênant la circulation des engins de manutention (voir photo 1).

Après creusement des galeries, le sol de celles-ci est convenablement nettoyé, un radier de béton est coulé, puis les massifs de piédroits sont bétonnés. Ces travaux furent assez pénibles par suite de la présence d'eau et de l'exigüité de l'espace disponible (voir photo 2).

Après bétonnage des piédroits, des injections de coulis de ciment achèvent de bloquer convenablement le terrain encaissant sur l'arrière de ces massifs.

Deuxième phase : creusement de la voûte jusqu'au niveau supérieur des piédroits.

La principale difficulté consiste à placer les tôles de blindage et à les soutenir tous les mètres par des cintres métalliques prenant appui sur les piédroits. Il s'agit donc de pouvoir creuser, sur le développement de la voûte entre piédroits, un anneau circulaire d'environ 13,50 m de diamètre et d'un peu plus d'un mètre de longueur. Même sur une aussi faible longueur, étant donné la structure du terrain, on ne pouvait espérer que les terres tiendraient sans supports.

Le procédé de construction adopté par l'entrepreneur consiste à travailler sous la protection d'un toit de palplanches métalliques s'avancçant horizontalement dans le terrain. Ces palplanches de 20 cm de largeur et de 1,50 m de longueur sont enfoncées horizontalement une à une et par passes de 10 cm. A l'avant, elles s'appuient sur le terrain et à l'arrière sur une voûte constituée de tôles embouties de 40 cm de largeur dénommées « liner-plates ».



Photo 1 : tête vers Namur - débouché des galeries. A remarquer les tuyaux d'aération du front d'attaque et la boue sortant des galeries.

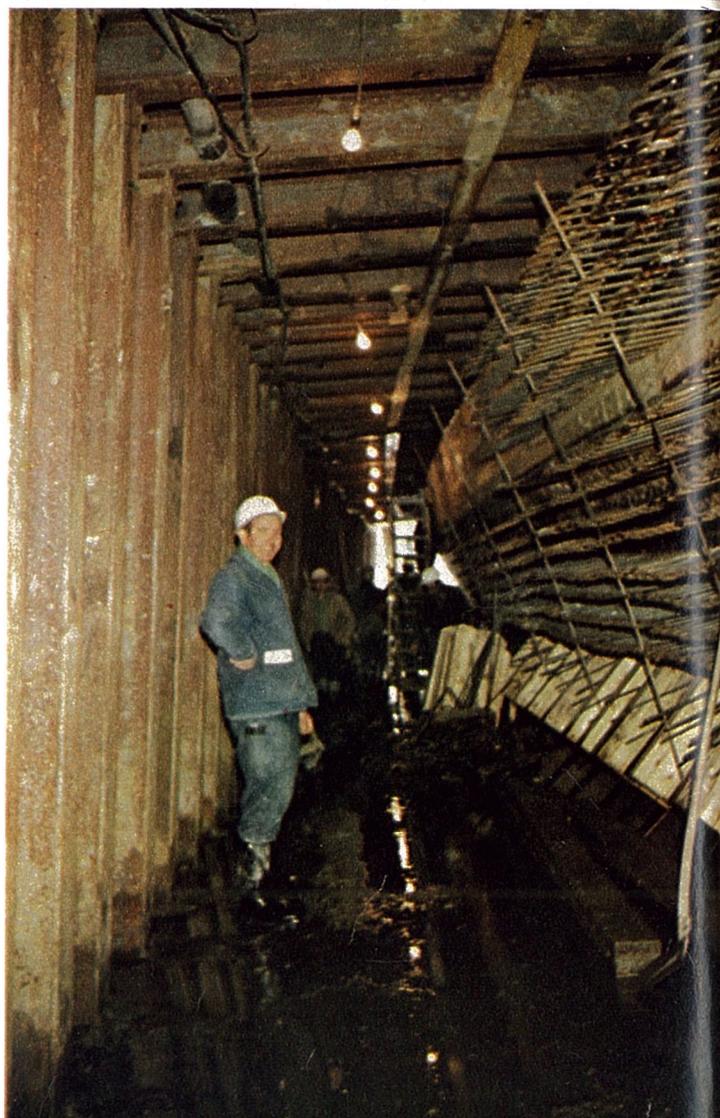


Photo 2 : galerie de piédroit. Pose des armatures.



Photo 3 : tête vers Namur. Pose des premiers cintres (mai 1968).

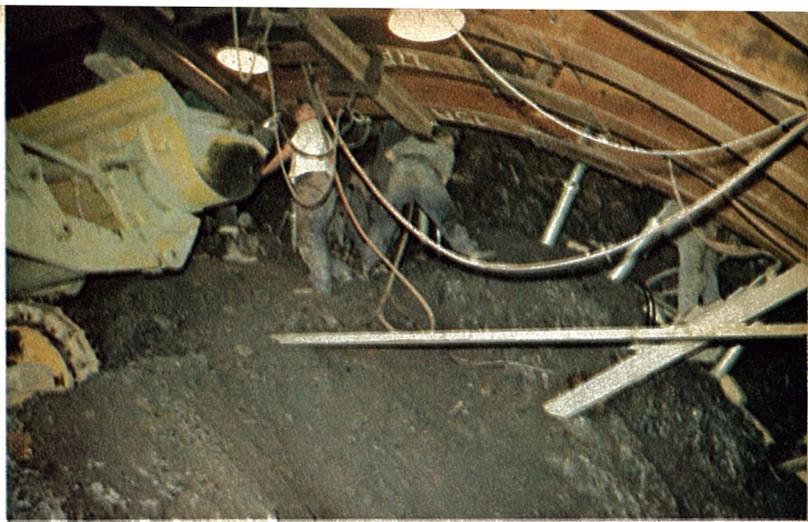


Photo 6 : front d'attaque. Cintres et stross central.

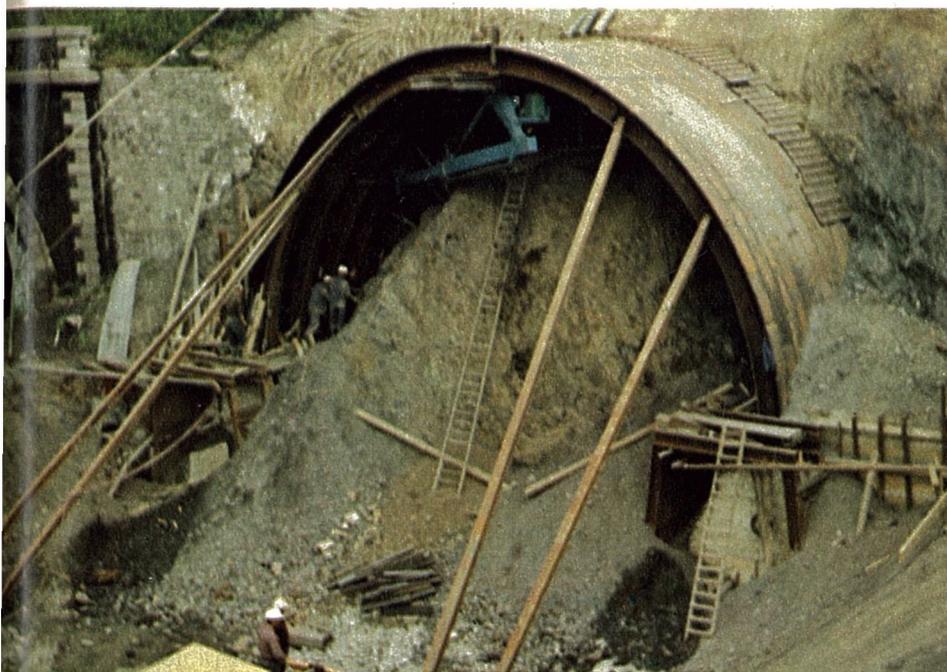


Photo 4 : tête vers Namur. Vue extérieure des tôles de blindage « liner-plate ». Les palplanches horizontales sont posées, elles commencent leur progression dans le terrain. En clef, appareil de manutention des cintres.



Photo 5 : front d'attaque sous la protection des liner-plates, vérins de support, extrémité des palplanches. A remarquer l'ergot servant d'appui pour l'enfoncement de celles-ci.

Ce blindage prenant appui sur les piédroits est soutenu par endroits par des vérins de 40 t s'appuyant sur le stross central.

A l'abri des palplanches, le terrain est creusé sur le pourtour de l'anneau à dégager, sur une hauteur de 1,70 m. Le stross central est maintenu contre le front d'attaque pour s'opposer aux poussées des terres sur celui-ci.

Dès que le creusement a progressé d'une longueur suffisante, une nouvelle voûte de liner-plates est mise en place et bloquée par vérins. Lorsque l'emplacement d'un cintre est dégagé, celui-ci est posé sous les liner-plates et fixé aux massifs de piédroits. Les liner-plates sont ensuite calées sur les cintres par des profilés métalliques s'appuyant sur deux cintres successifs. Les vérins supportant les liner-plates sont alors retirés, et un nouveau cycle recommence (voir photos 3 à 8).

Pour remplir les vides laissés par le passage des palplanches, des gravillons sont injectés derrière les liner-plates.

A une quinzaine de mètres minimum du front d'attaque, des engins enlèvent le stross central jusqu'au niveau supérieur des piédroits. Un transporteur à courroie évacue les terres vers l'arrière où elles sont déversées dans des camions.

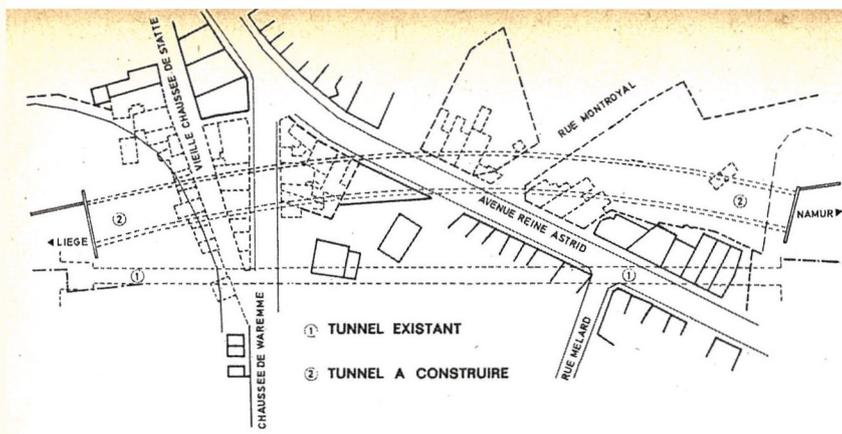


Fig. 2 : plan d'emplacement.



Photo 7 : front d'attaque. Pose d'un cintre.

Lorsque les ouvriers (répartis en deux équipes, l'une de jour, l'autre de nuit) furent bien habitués au travail, l'avancement était de deux cintres par jour.

Le guidage des palplanches présenta certaines difficultés ayant entraîné le creusement de hors profil allant jusqu'à 80 cm à certains endroits.

Le tunnel étant établi en courbe, il en résulta quelques sujétions supplémentaires dans la pose des liner-plates. Celles-ci ayant une largeur constante de 40 cm, des fourrures d'épaisseur variable devaient être intercalées entre les voûtes successives de liner-plates pour racheter la différence de développement entre le côté intérieur et le côté extérieur de la courbe.

Troisième phase : creusement du radier et pose des cintres inférieurs.

Jusqu'à ce stade, les piédroits sont toujours calés sur les cadres des galeries, eux-mêmes bloqués sur le terrain. Il s'agit à présent d'enlever les terres situées entre les piédroits et de creuser la partie centrale jusqu'à 2 m sous le niveau de fondation de ceux-ci afin de pouvoir poser les cintres du radier.

Pour éviter tout mouvement des piédroits sous les poussées horizontales considérables des terrains encaissants, un étançon de 100 t de capacité est mis en place pour contrebuter les piédroits dès que les terres sont enlevées sur la hauteur de ceux-ci sur une longueur de 2 m (photo 9). Le creusement du radier est alors poursuivi.

Des tôles ondulées sont posées sur le sol pour répartir la charge du cintre inférieur. Celui-ci est immédiatement mis en place, scellé dans les logements prévus sous les piédroits et bloqué sur les tôles de répartition par un bourrage de béton.

Les travaux de cette phase s'effectuent à une distance de 40 m environ des opérations du front d'attaque pour ne pas gêner celles-ci. Une pelle rétro, placée sur un pont dont le chemin de roulement se trouve sur les piédroits enlève les terres, qui sont évacuées par

transporteur et déversées dans les camions pour être conduites à l'extérieur du tunnel.

Après scellement des cintres de radier, les étançons de 100 t entre piédroits sont enlevés.

Quatrième phase : bétonnage.

Le radier est d'abord bétonné par tronçons de 4 m au moyen d'un coffrage métallique glissant.

Pour bétonner la voûte, un coffrage métallique roulant sur les tronçons de radier achevés est alors installé ; sa charpente de support a près de 10 m de hauteur. Le coffrage permet de bétonner la voûte par tronçons de 8 m de longueur (photo 10). Le béton est mis en place par pompage à travers des fenêtres prévues dans le coffrage et obturées au fur et à mesure de la montée du béton. Pour le bétonnage de la clef, des précautions spéciales sont prises afin d'éviter la formation de vide sous les liner-plates. Signalons que, par suite de la nature agressive des eaux rencontrées dans le terrain, on a utilisé pour les bétons du ciment sursulfaté résistant parfaitement aux eaux séléniteuses.

Après durcissement du béton, des injections de blocage sont effectuées entre les liner-plates et le terrain.

Restent ensuite pour terminer : le caniveau central, les murs de tête du tunnel et divers travaux de parachèvement. Les murs de tête sont en béton armé revêtu de moellons de calcaire de la région.

Divers.

A titre documentaire, précisons que la construction du tunnel a nécessité l'enlèvement de 68.000 m³ de déblais et la mise en œuvre d'environ 11.800 m³ de béton et 1.500 t d'acier.

Grâce aux mesures de sécurité prises, aucun accident sérieux ne fut à déplorer au cours des travaux.

Quant aux mouvements de terrain, ils furent peu importants. Des mesures faites dans des forages exé-

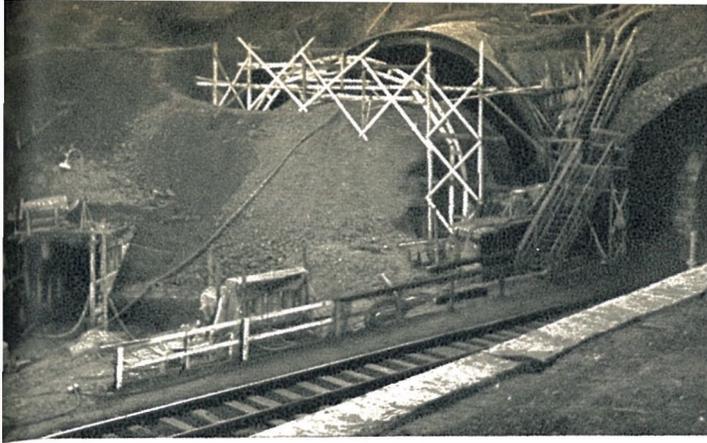


Photo 8 : sortie du creusement à la tête vers Liège (percée le 14-12-68).

cutés entre l'ancien et le nouveau tunnel à l'aide d'inclinomètres ne révélèrent que des glissements peu graves. Aucune répercussion sérieuse ne se fit sentir dans l'ancien tunnel. Lors du passage des travaux sous l'avenue Reine-Astrid, des tassements des bordures de trottoir de l'ordre de 10 cm furent constatés sur une courte longueur à l'aplomb de la clef. A cet endroit, la couverture du tunnel est de 12,50 m environ, mais il ne faut pas oublier que le creusement a plus de 15 m de largeur et 12 m de hauteur.

Les poussées du terrain se manifestèrent localement à l'intérieur du tunnel par l'écrasement des poutrelles interposées entre les liner-plates et les cintres. A plusieurs endroits, ces poutrelles Grey de 12 cm de hauteur étaient complètement écrasées ou tordues (photo 11).

Le terrain, au cours du creusement, se révéla vraiment fluant. Sa résistance était très variable, des pans de roche apparemment sains et durs se laissaient arracher à la main ; à d'autres endroits, l'usage du marteau-pic était indispensable. Les plans de schistosité, d'orientation très diverse, étaient toujours extrêmement glissants, souvent revêtus d'une pellicule d'argile très fine, onctueuse au toucher.

Lors de l'établissement des talus de la tête côté Liège, malgré la réalisation de pentes semblables à celles qui existaient antérieurement (8,5/4), des mouvements importants de terrain se produisirent, particulièrement dans le talus nord. Les travaux de stabilisation de ce dernier sont en cours, en réduisant son inclinaison à 12/4 et en y établissant des pieux forés en béton armé de 1,50 m de diamètre.

Les travaux de construction du tunnel de Huy commencèrent le 4 septembre 1967 ; le bétonnage du pertuis fut terminé à la mi-mai 1969. La mise en service du tunnel est prévue pour le début de 1970, après achèvement des travaux d'aménagement des gares de Statte et de Huy. Ainsi disparaîtra, après 66 ans, un obstacle important qui s'opposait à l'amélioration des relations ferroviaires entre Liège et Namur.

A. DEHAEN,
ingénieur en chef.



Photo 9 : pose des cintres de radier sur les tôles de répartition. On remarque les deux poussards de 100 t contre-butant les piédroits.

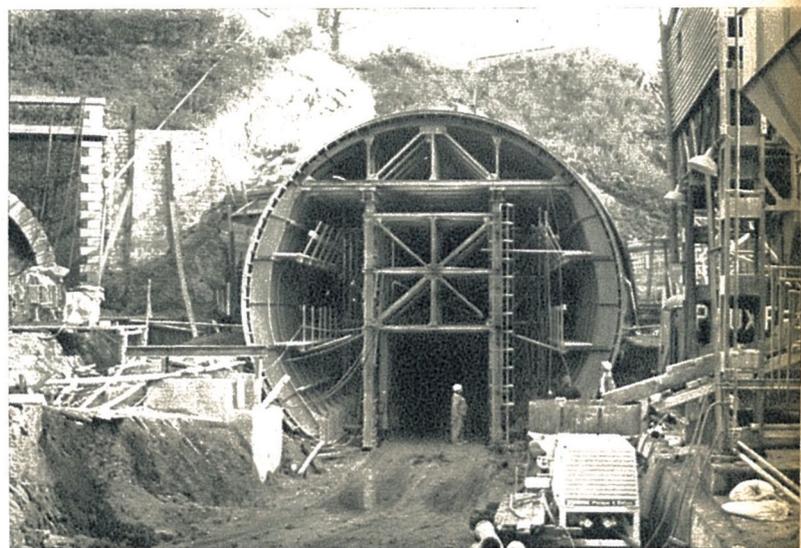


Photo 10 : montage du support de coffrage pour le bétonnage de la voûte.

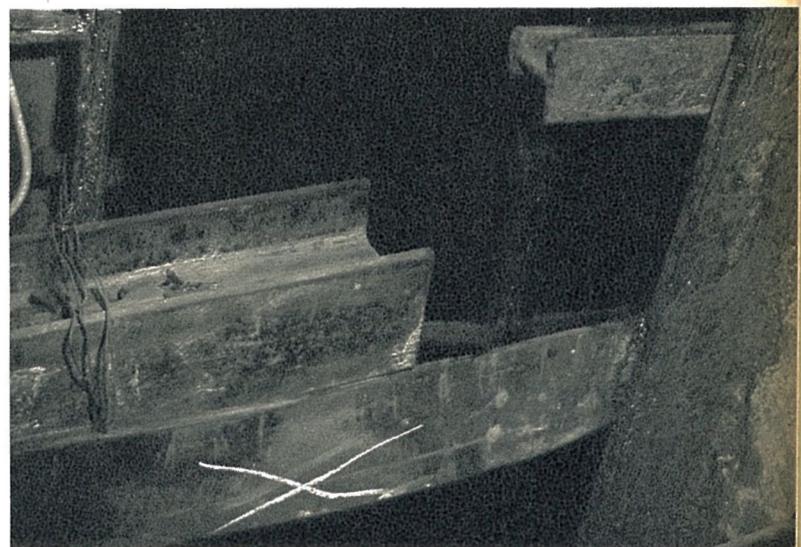


Photo 11 : poutrelle de 12 cm de h. de calage des « liner-plates » complètement écrasée sous la poussée des terres.