

RÉNOVATION DES TUNNELS S.N.C.F.

TECHNIQUES DE RÉPARATIONS

MISE A CIEL OUVERT DÉVIATION DE LA LIGNE ⁽¹⁾

Jean ERAUD

*Ingénieur principal adjoint à la Division des Tunnels
du Département des Ouvrages d'Art
de la Direction de l'Équipement de la S.N.C.F.*

I. GÉNÉRALITÉS

Nous avons examiné dans les articles précédents les différents modes de confortation des tunnels ferroviaires et avons vu que selon l'état de dégradation des ouvrages, leur remise en état faisait appel à des techniques de réparation très variées pouvant aller du simple entretien courant à la reconstruction plus ou moins totale.

Le coût de ces travaux est généralement très élevé du fait des conditions de travail et des impératifs liés au maintien de la circulation ferroviaire. A ce coût s'ajoutent encore des dépenses annexes non négligeables dues le plus fréquemment :

- aux travaux de voie et de signalisation imposés par ces travaux;
- aux dépenses de personnel S.N.C.F. pour la sécurité du chantier, pour la surveillance des travaux et la conduite des engins de traction :
- aux ralentissements imposés aux circulations;
- aux détournements de trains sur d'autres itinéraires.

Le plus fréquemment, il n'y a pas d'autre alternative que la remise en état de l'ouvrage, quel qu'en soit le coût, mais nous allons voir par quelques exemples qu'il arrive quelquefois qu'on puisse envisager d'autres solutions telle que mise à ciel ouvert ou déviation de la ligne.

Ces cas sont assez rares car il faut bien admettre que les constructeurs des lignes de chemin de fer possédaient bien leur art de construire et que leurs choix dans les tracés compte tenu des moyens de l'époque se sont le plus souvent révélés judicieux. De nombreux exemples d'instabilité de talus aux têtes des tunnels existants attestent que l'adoption de la solution « tunnel » même sous faible couverture procédait d'un sérieux bon sens et d'une bonne connaissance de la nature des terrains et de la stabilité des déblais.

Il n'est donc guère d'exemple où la construction d'un tunnel n'ait pas été justifiée au moment de son percement, mais aujourd'hui compte tenu des moyens puissants des Entreprises dans le domaine des grands terrassements, il n'est pas exclu de penser que dans certains cas, le choix entre les diverses solutions se poserait en d'autres termes qu'autrefois et ceci tant sur le plan technique que sur le plan économique.

C'est ainsi que ces dernières années, placé devant une absolue nécessité de procéder à des travaux coûteux de confortation de quelques tunnels, le Département des Ouvrages d'Art de la S.N.C.F., après avoir procédé à une étude comparative des coûts de remise en état et de suppression par mise à ciel ouvert a pu opter pour le choix de cette dernière solution.

Dans d'autres cas, c'est la déviation de la ligne avec sa mise en tranchée ou percement d'un nouveau tunnel qui s'est révélée la solution la plus satisfaisante.

Nous allons donner quelques exemples de ce genre de travaux.

⁽¹⁾ Cet article fait suite à celui paru dans le numéro de juillet-août de cette revue et est le dernier d'une série de sept articles.



Fig. 1. — Tunnel d'Hardelot.
Assemblage des cintres à la tête Nord.

(Cl. S.N.C.F. Mauwillain)

II. MISE A CIEL OUVERT

1. Tunnel d'Hardelot

Sur l'itinéraire traditionnel Paris-Londres *via* Calais et Douvres, à quelques kilomètres de Boulogne-sur-Mer, la voie ferrée traversait la forêt domaniale d'Hardelot par un souterrain de 180 m de longueur.

Cet ouvrage construit entre 1846 et 1848 dans les conditions techniques rendues difficiles par la nature argileuse du terrain traversé, nécessitait en 1958 d'importants travaux de réparation.

1.1. Problèmes posés

Son revêtement en maçonnerie de briques était particulièrement dégradé, les avaries liées au gel et à la traction vapeur se traduisant par :

- un feuilletage des briques en parement;

- un déjointoiement généralisé;
- un décollement des différents anneaux des briques entraînant la chute de briques par panneaux entiers.

Aux deux têtes, des désordres liés à la poussée des terrains et à des tassements conduisaient à un déversement des murs de tête avec fissuration de la voûte.

Compte tenu des sommes importantes qu'il convenait d'engager pour la remise en état de ce tunnel, il fut décidé de le mettre à ciel ouvert. Ce choix trouvait sa justification dans la faible couverture des terrains au-dessus de l'extrados (7 à 8 m) qui laissait à penser que les constructeurs anglais avaient préféré le percement d'un tunnel au creusement d'une tranchée parce qu'à cette époque, ils ne possédaient que des moyens de terrassements rudimentaires.

Comme par ailleurs le gabarit très réduit ne permettait pas non plus d'envisager une électrification future, cette mise à ciel ouvert résolvait à la fois les problèmes d'entretien et les problèmes de gabarit.

1.2. Déroulement des travaux

Les travaux commencèrent le 12 juin 1958 et devaient porter sur 80 000 m³ de terrassements (pente de 3 pour 2) et la démolition de 2 600 m³ de maçonnerie.

La première partie du terrassement (45 000 m³) jusqu'à 2,50 m de l'extrados du tunnel se déroula de façon satisfaisante à l'aide de trois scrapers.

Le reste des opérations nécessitait la mise sur cintres de l'ouvrage et l'adoption d'un tronç commun à quatre rails enchevêtrés dans l'axe de la plate-forme (fig. 1).

En vue d'éviter une mise sur cintres totale du tunnel, seule la partie sud du tunnel sur environ 25 m fut équipée de cintres fixes pendant la durée du chantier. En dehors de cette zone maintenue pour le passage des engins de terrassement, leur circulation fut interdite au-dessus de l'ouvrage.

Pour permettre la démolition de la voûte, un ensemble de cintres mobiles (sur 25 m environ) se déplaçant sur deux rails placés parallèlement à la voie, couvrait la zone de travail effectif et était déplacé chaque nuit de quelques mètres (fig. 2).

Ce chantier se déroula pendant une période excessivement pluvieuse et certains jours, il dut être arrêté, les engins s'enlisant dans la boue. Lors de la démolition de la voûte, certaines zones du tunnel existant furent le siège de désordres assez inquiétants pour nécessiter un ralentissement à 10 km à l'heure dans le tunnel.

Du fait du retard provoqué par le mauvais temps, ce chantier dut se poursuivre en plein hiver dans des conditions pénibles. Des pluies continues provoquè-

Fig. 2. — Tunnel d'Hardelot. Démolition de la voûte.



rent des glissements de terrain du nouveau talus (*fig. 3*), imposant un renforcement du fascinage et la construction d'un mur de soutènement côté voie 2 de 2 m de hauteur.

1.3. Problèmes posés depuis ces travaux

En 1960 et 1961, des éboulements affectèrent à nouveau le talus côté voie 2 et nécessitèrent :

- le déblaiement et le dressage de la pente (25 500 m³);
- la création d'une tranchée drainante de 6 m de profondeur et la pose d'un tuyau Ø 500 avec constitution d'un filtre;
- l'établissement de pierrées transversales.

Au cours de l'hiver 1964-1965, le talus voie 1 s'est affaissé sur 25 m et malgré la pose de deux rangées de gabions n'en a pas moins maintenu son mouvement.

Il fut décidé de procéder en l'été 1965 à l'adoucissement de la pente ce qui nécessita outre l'acquisition de terrains aux Eaux et Forêts près de 21 000 m³ de terrassements supplémentaires.

Depuis cette date, il n'y a pas eu de désordres ni d'interventions. L'ensemble s'est stabilisé, la végétation ayant désormais recouvert les talus.

2. Tunnel du Crozet

Situé sur la ligne de Moret-Les-Sablons à Lyon par Saint-Etienne entre les gares de Saint-Martin - Sail-Les-Bains et de la Pacaudière, ce tunnel de 225 m de longueur, revêtu d'une maçonnerie de moellons granitiques, n'avait depuis sa construction en 1859 donné aucun souci quant à sa stabilité et son état était jugé satisfaisant.

Le 20 mars 1971 à 4 h 20, la locomotive diesel d'un train sur voie 1 entre en collision à l'intérieur du tunnel avec des wagons de carburant liquide d'un train circulant sur voie 2.

Les deux convois sont immobilisés et un violent incendie se déclare à l'intérieur de l'ouvrage.

Le 21 mars sous l'effet du feu qui dilate moellons et mortier, trois effondrements de la voûte à 40 m de la tête Saint-Germain, à 30 et 75 m de la tête Roanne, provoquent des éboulements de sable qui obstruent le tunnel et donnent naissance à trois cratères en couverture.

2.1. Solutions envisagées

Dans un premier temps, compte tenu de la présence de trois fermes au-dessus du tunnel, il est prévu de consolider la tête côté Saint-Germain et de limiter la mise à ciel ouvert à la tête côté Roanne sur 75 m jusqu'à l'éboulement n° 3 (*fig. 4*).



Fig. 3. — Tunnel d'Hardelot.
Terrassement en cours et fascinage.

Les travaux entrepris dès le 23 mars par les Entreprises « Ménager et Gorce » et « Perrier » sont retardés par des difficultés croissantes provoquées par la progression des effondrements dont les cratères augmentent en profondeur et en diamètre (*fig. 5*).

La consolidation du cratère n° 1 par application sur sa paroi d'un enduit grillagé par procédé Aérocem n'apporte pas une solution efficace. Côté Roanne, le dégagement du matériel s'opère sous un éboulement continu, la voûte s'écroulant au fur et à mesure de la progression des terrassements. Dans la nuit du 5 au 6 mai 1971, d'importants éboulements compromettent sérieusement l'assise des habitations.

La conservation du tunnel est abandonnée au profit d'une mise à ciel ouvert.

2.2. Mise au point du projet

Une analyse d'échantillons de sol en laboratoire



Fig. 4. — Tunnel du Crozet.
Dégagement de la tête côté Roanne.



Fig. 5. — Tunnel du Crozet.
Terrassement en cours et cratère n° 3.

permet de déterminer les caractéristiques mécaniques des terrains encaissants :

- dans la partie supérieure : sable,
 - poids spécifique apparent humide : $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$,
 - angle de frottement interne drainé : $\phi = 37,5^\circ$,
 - cohésion drainée : $C' = 0$;
- dans la partie courante : gore (granit décomposé),
 - poids spécifique apparent humide : $\gamma = 2,3 \text{ t/m}^3$,
 - angle de frottement interne drainé : $\phi = 37,5^\circ$,
 - cohésion : $C' = 0$;
- dans la partie inférieure : gore argileux,
 - poids spécifique apparent saturé : $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$,
 - angle de frottement interne drainé : $\phi = 4^\circ$,
 - cohésion drainée : $C' = 5 \text{ t/m}^2$.

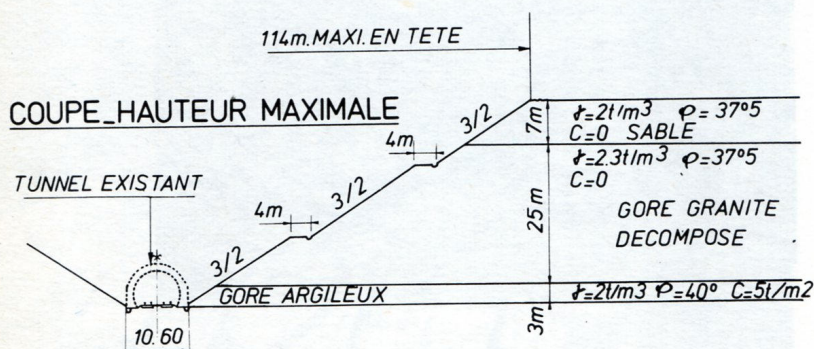


Fig. 6. — Tunnel du Crozet. Coupe de la tranchée.

Le granit dur que l'on était susceptible de rencontrer au cours des terrassements fut assimilé à un granit décomposé, la mise à l'air ne pouvant que provoquer ou accélérer sa décomposition.

A partir de ces résultats la stabilité des pentes de la future tranchée est calculée sur ordinateur en utilisant la méthode de Bishop simplifiée. Compte tenu des conclusions de cette étude, il est décidé de profiler les talus de déblais à 3/2 avec deux risbermes intermédiaires de 4 m de large (fig. 6).

2.3. Déroulement des travaux de 2^e phase

L'Entreprise Ligier commence le 21 mai 1971 les travaux de grands terrassements qui seront suivis des travaux de déblaiement et d'enlèvement du matériel détruit.

Le 19 juin, la plate-forme est prête à recevoir la pose des voies et le 25 juin les trains circulent dans la nouvelle tranchée.

250 000 m³ de terres ont ainsi été déblayés pendant cette période. Auparavant les Entreprises « Menager et Gorce » et « Perrier » avaient extrait 50 000 m³ de terres.

Ces terrassements se déroulèrent comme prévu; ils furent favorisés par de bonnes conditions climatiques et par la nature sableuse du terrain qui, à l'exception du noyau granitique, se prêta convenablement aux techniques usuelles de terrassement.

Les crêtes des talus de la nouvelle tranchée s'élèvent à une hauteur maximale de 35 m au-dessus du niveau des rails. Au droit de ces sommets la distance entre crêtes est de 114 m (fig. 7).

Le réseau de drainage est constitué longitudinalement par des caniveaux de risbermes maçonnés reliés aux deux caniveaux de pied de talus par des descentes suivant versant.

L'engazonnement a été réalisé par épandage mécanique de graines et d'engrais suivi d'une projection de paille hachée fixée par une pulvérisation d'une émulsion alcaline de bitume. Il fut complété par des plantations de robiniers.

2.4. Bilan de l'opération

Cette mise à ciel ouvert qui s'est déroulée en deux phases distinctes :

- la première pour effectuer les travaux de confortement du tunnel et une mise à ciel ouvert partielle;

- la deuxième pour poursuivre la mise à ciel ouvert et installer le dispositif d'assainissement et de stabilisation des pentes a coûté en définitive 5,1 MF H.T. (francs 1971) se décomposant comme suit :

- indemnité aux propriétaires : 540 000 F;
- aménagement des décharges : 450 000 F;
- terrassements : 2 480 000 F;
- travaux annexes : 200 000 F;
- assainissement et stabilité des pentes : 600 000 F;
- cintres : 590 000 F;
- enlèvement des épaves : 170 000 F;
- consolidation du cratère Nord : 70 000 F;

ce qui fait ressortir un prix global au mètre cube terrassé de 17 F.

Si l'on considère que les prix de terrassement effectivement payés aux entreprises étaient de 14,55 F pour le premier marché et de 7,00 F pour la deuxième, le prix moyen pondéré ressort à 8,25 F le mètre cube terrassé ce qui ne correspond qu'à la moitié des dépenses effectivement engagées pour cette opération.

3. Tunnel de Grattery

Ce tunnel situé sur la ligne de Paris à Mulhouse, a proximité de Port-sur-Saône, traverse un éperon de marnes gris-bleu dominant d'une cinquantaine de mètres les vallées de la Saône et de la Scyotte, un de ses affluents.

D'une longueur de 388 m, il est en alignement droit et la couverture au-dessus de la voûte est au maximum de 21 m.

Cet ouvrage en plein cintre de 8 m d'ouverture dont l'épaisseur du revêtement est d'environ 1,00 m a été construit de 1855 à 1858. Sa construction donna lieu du fait d'une mauvaise maîtrise des venues d'eau à des tassements localisés qui nécessitèrent entre autres l'abaissement de la plate-forme projetée (de près de 70 cm) et la confection d'un radier partiel par butons sur plus de 100 m de longueur ainsi que la reconstitution sur 20 m d'une portion de voûte disloquée.

3.1. Problèmes posés

De 1898 à 1960, six chantiers de travaux ont été réalisés. Essentiellement motivés par le mauvais état des maçonneries en moellons de calcaire gélif et par l'importance des infiltrations d'eau, ils ont porté sur des réfections de maçonnerie et sur l'amélioration des divers systèmes d'assainissement.

En 1973, l'examen approfondi de l'état de ce tunnel ayant fait apparaître une accentuation de la dégradation de la maçonnerie sous l'effet des circulations d'eau et du gel, d'importants travaux de remise en état s'imposaient.

Deux solutions ont alors été examinées;

(a) réparation du tunnel, qui impliquait sa reconstruction totale sur 172 m et des réfections partielles importantes;

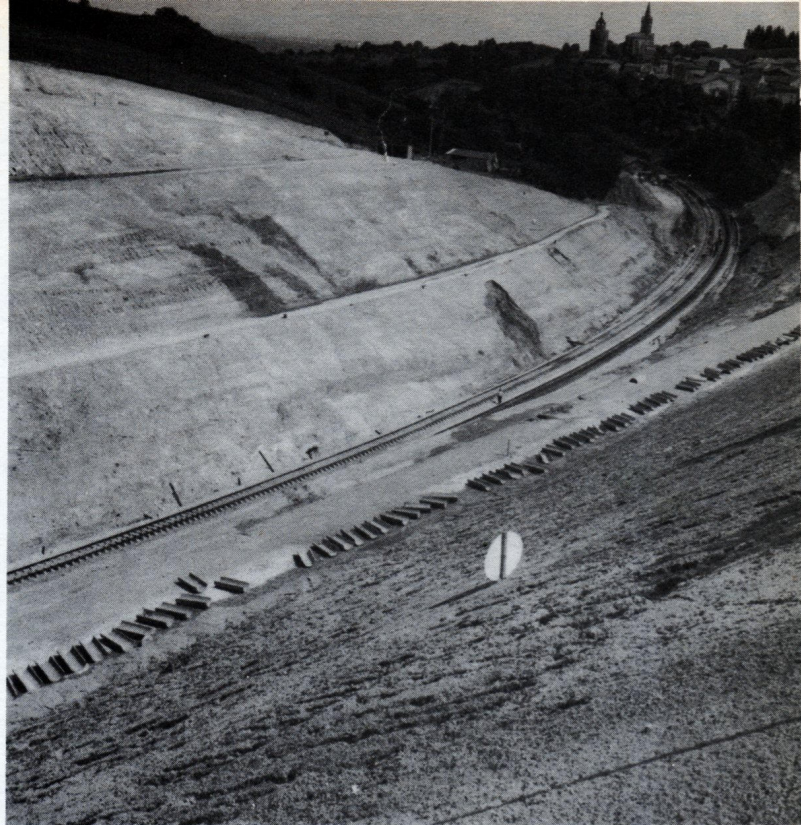


Fig. 7. — Tunnel du Crozet. Tranchée côté Roanne.

(b) mise à ciel ouvert.

Une comparaison préalable des coûts des deux solutions a fait apparaître un avantage de l'ordre de 20 % en faveur de la deuxième solution qui, de plus, présentait moins d'aléas et de sujétions que la première.

Dans l'attente des travaux, un dispositif de détection d'éboulement par fils de voûte fut mis en place en 1974; des cintres standard légers furent ensuite posés en 1977 dans les zones les plus critiques du tunnel.

3.2. Phase d'étude géotechnique

La solution de mise à ciel ouvert ayant été retenue une première phase d'étude fut entreprise pour définir les pentes des talus admissibles et les emprises de la tranchée future. Elle comprenait :

- une campagne de reconnaissance géologique par sondages carottés;
- des essais de laboratoires sur échantillons intacts;
- une étude de l'altérabilité et du gonflement des marnes;
- le calcul de la stabilité des pentes.

Ces investigations ont permis de préciser la nature des terrains :

- un substratum constitué par des marnes raides finement schisteuses, gris-bleu ou noires, renfermant des nodules calcaires et siliceux (chailles);
- des terrains de couverture constitués :
 - de marnes noires et d'argiles jaunes de décalcification très altérées et très plastiques,

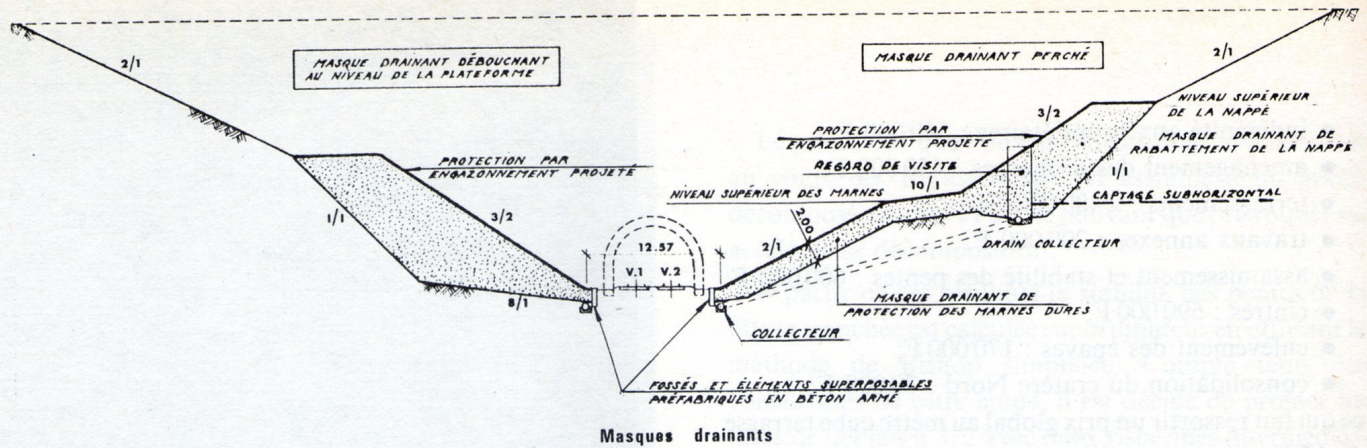


Fig. 8. — Tunnel de Grattery. Coupe courante.

- d'argiles à chailles,
- de sables fins argileux,
- de limons bariolés renfermant des intercalations de sables fins et de niveaux de chailles;

les formations d'argiles à chailles et de sables étant le siège d'une nappe aquifère.

L'étude de stabilité des pentes a montré d'une part que les niveaux critiques étaient les couches d'argiles plastiques de marnes altérées et d'autre part, qu'il convenait pour assurer la pérennité des talus de réaliser des masques drainants lourds situés au niveau des argiles plastiques et des niveaux aquifères afin de rabattre la nappe et d'augmenter la butée en pied.

Les pentes retenues ont été de 2/1 pour les terrains de couverture et de 3/2 pour les marnes raides et les masques drainants (fig 8).

3.3. Mise au point du projet

Une deuxième phase d'étude, en 1977, a permis d'affiner le projet et d'en étudier la faisabilité, puis de préparer la rédaction d'un dossier d'appel d'offres. Elle a porté sur plusieurs points.

(a) *Problèmes liés à la présence de la nappe.* Les relevés piézométriques et les mesures de débit des eaux drainées par le tunnel (fossés latéraux et galeries drainantes) ont confirmé l'existence d'une nappe permanente dans les niveaux de sables fins argileux et de chailles qui constituaient de ce fait un niveau instable à court terme.

Les études de rabattement de nappe (essais Lefranc) ont conduit à implanter, pour le drainage de la tranchée, des pointes filtrantes d'une profondeur moyenne de 5 m disposées sur quatre étages, pour une hauteur de rabattement total de l'ordre de 17 m. Le but de ces pointes filtrantes était d'assurer la stabilité des talus à court terme, pendant l'exécution des terrassements et jusqu'à la mise en place des masques drainants.

(b) *Dimensionnement des cintres à mettre en place.* Les terrassements et la démolition de la voûte ne pouvaient se concevoir qu'à l'abri de couchis jointifs intercalés entre des cintres et la maçonnerie (fig. 9). Une étude destinée à définir les dimensions et l'espacement des cintres a donc été entreprise. Elle a tenu compte des charges dues aux terrains, de la pression éventuelle de la nappe et des surcharges des engins lors des différentes phases du terrassement.

Cette étude a montré que seuls des cintres standards lourds (fig. 10) pouvaient encaisser de telles sollicitations, qu'ils devaient être correctement fondés (massifs en béton), que le terrassement devrait se faire en deux phases : prétérrassement jusqu'à une cote critique de 2 m au-dessus de l'extrados, puis découverte de la voûte et dégagement des piédroits de manière absolument symétrique de part et d'autre de la clé de voûte (fig. 11 et 9).

(c) *Mise au point des diverses phases de travaux.* Toutes ces vérifications ont permis de définir les différentes phases de travaux et les modes d'exécution de chaque étape.

Parallèlement à ces études techniques, de nombreuses formalités administratives et problèmes juridiques durent être abordés :

(a) obtention d'arrêtés préfectoraux pour autoriser



Fig. 9. — Tunnel de Grattery.
Couchis après démolition de la voûte.

la pénétration dans les propriétés, pour effectuer les investigations et pour la déclaration d'utilité publique;

(b) achats de terrains au droit du tunnel et pour la mise en dépôt d'un volume de terres et de matériaux de l'ordre de 600 000 m³;

(c) servitude de fourniture d'eau à la commune de Grattery puisqu'aux termes d'une convention la S.N.C.F. était tenue de fournir à la tête du tunnel un volume d'eau équivalent à celui sortant avant travaux.

3.4. Déroulement des travaux

Après appel d'offres les travaux furent confiés aux entreprises Fougerolle et Montcocol conjointes et solidaires et se déroulèrent en cinq phases :

Phase 1 : Travaux préparatoires :

- nettoyage et préparation des terrains à l'emplacement des zones de déblai et de dépôts;
- enlèvement et mise en dépôt des terres végétales;
- exécution des pistes de chantier et des accès provisoires;
- dépose dans le tunnel des cintres standard légers et mise en place de cintres standard lourds sur des en béton.

Phase 2 : Travaux d'ouverture de la tranchée :

- terrassements en grande masse au-dessus de la cote critique (fixée à 2 m au-dessus de l'extrados de la voûte), y compris le rabattement de la nappe par pointes filtrantes et les drainages nécessaires à la réalisation des terrassements et à la stabilité à court terme des talus;
- transport et mise en place des déblais dans la zone de dépôt.



(Cl. Photociné René Larcher.)

Fig. 10. — Tunnel de Grattery.
Cintres lourds après démolition du tunnel.

Phase 3 : Travaux aux abords de la voûte :

- terrassements symétriques de part et d'autre du tunnel pour découverture de la voûte;
- démolition de la voûte puis des piédroits;
- transport et mise en place des déblais dans la zone de dépôt.

Phase 4 : Drainage et équipements :

- exécution des captages et des ouvrages d'amenée nécessaires à l'alimentation en eau de la Commune de Grattery;

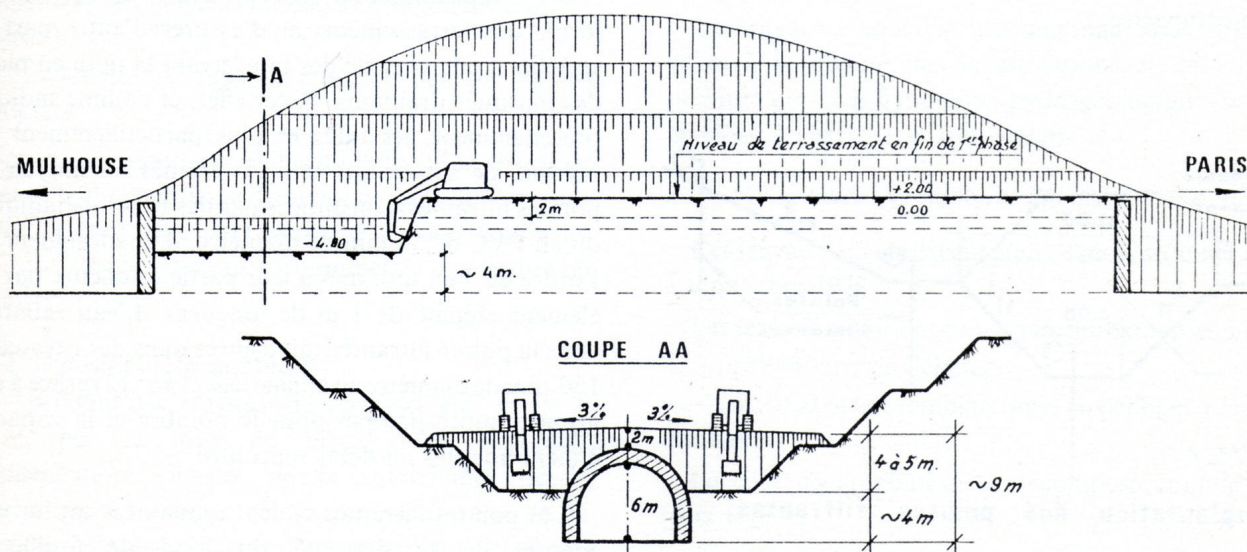


Fig. 11. — Tunnel de Grattery. Terrassement à moins de 2 m de la voûte.



Fig. 12. — Tunnel de Grattery.
Ligne de pointes filtrantes.

- exécution des masques drainants nécessaires à la stabilité à long terme des pentes de talus de déblais;
- exécution des ouvrages de reprise des eaux de drainage provenant des masques et des talus;
- revêtement des talus en terre végétale, puis engazonnement;
- aménagement de l'aire de dépôt avec réalisation d'un chemin sur 800 ml et d'un fossé d'assainissement sur 850 ml.

Phase 5 : Assainissement de la plate-forme ferroviaire par relevage du profil en long des voies de l'ordre de 20 cm avec mise en place d'une sous-couche en grave de 0/315 compactée.

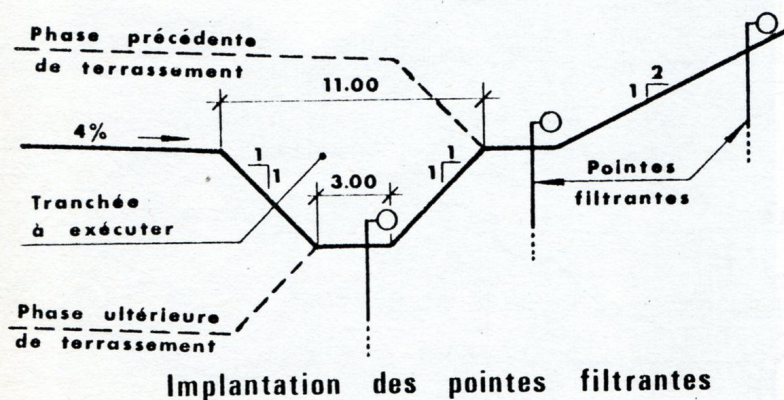


Fig. 13. — Tunnel de Grattery.
Implantation des pointes filtrantes.

Nous nous limiterons à donner ici quelques points de détail sur l'organisation de ce chantier.

Conditions de circulation. La mise en place des cintres standards lourds destinés d'une part à recevoir le couchis jointif de protection en voûte, d'autre part à résister à l'influence des différents cas de charge pendant les travaux de terrassement avait pour conséquence de réduire le débouché du tunnel et d'interdire le croisement de deux trains sous l'ouvrage. Il était donc nécessaire de créer un tronç commun temporaire (TCT), par rapprochement de 1,50 m des deux voies et leur mise à l'entraxe de 2,07 m (fig. 10).

Pour la mise en place des cintres, la vitesse a été réduite, de jour seulement, à 30 km/h. Les terrassements et la démolition du tunnel ont eu lieu avec un ralentissement des trains à 60 km/h.

Organisation du chantier. Compte tenu des impératifs définis au projet imposant de ne plus faire circuler d'engins au droit du tunnel à partir d'un certain niveau, le terrassement s'exécuta comme suit :

- jusqu'à la cote de 2 m au-dessus de l'extrados du tunnel, six décapeuses Caterpillar 631 B de 450 ch, poussées par trois bouteurs Caterpillar de 270 à 385 ch, assuraient l'enlèvement puis le transport du déblai jusqu'à l'aire de dépôt;

- au-dessous de la cote de 2 m, deux pelles hydrauliques Poclain CK 300 de 320 ch sur chenilles travaillant en rétro enlevaient systématiquement les déblais qui étaient chargés sur huit tombereaux (6 DJB-D 350 de 258 ch et deux Caterpillar 769 B de 415 ch).

La démolition de la voûte s'est faite à l'aide de marteaux pneumatiques et d'éclateurs de roche, les matériaux étaient repris par une pelle travaillant en rétro.

Pour exécuter ces travaux sans déboires, il convenait d'une part de limiter les venues d'eau de la nappe sur la forme des terrassements et d'assurer d'autre part la stabilité à court terme des talus avant la mise en place des masques drainants. A cet effet, et comme indiqué précédemment, les talus et plus particulièrement les niveaux de sables fins ont été drainés au moyen de pointes filtrantes, constituées par des tubes métalliques ou en PVC de 50 mm de diamètre, d'une longueur de l'ordre de 5 m, terminés à leur partie inférieure par un élément crépiné de 1 m de longueur. L'eau rabattue dans la pointe filtrante était aspirée dans des tuyaux de 150 mm de diamètre en alliage léger (fig. 12) grâce à des groupes moto-pompes dont le nombre et la capacité étaient adaptés au débit rencontré.

Les pointes filtrantes étaient implantées au fur et à mesure de la descente du fond de fouille, à l'emplacement des futures risbermes (fig. 13). Chaque

ligne de pointes filtrantes provoquait un rabattement effectif de l'ordre de 4 m, la première ligne de pointes filtrantes étant implantée au niveau le plus haut de la nappe.

Les pointes filtrantes sont restées en service jusqu'à la mise en place des masques drainants et du système de drainage définitif.

Captages pour l'alimentation en eau de la commune de Grattery. Les captages comprennent 28 drains subhorizontaux en PVC, de 90 mm de diamètre et de 20 m de longueur environ, crépinés sur une partie de leur longueur et implantés de part et d'autre de la plateforme de la voie ferrée sur les risbermes, dans la zone aquifère.

Les eaux drainées par chaque tube aboutissent à un regard visitable et sont ensuite amenées par des canalisations en béton aux aqueducs de pied de talus et, de là, au bassin de réception situé à la tête côté Mulhouse.

Exécution des masques drainants. Les masques drainants (fig. 8) sont constitués par des graves calcaires concassées de carrière à 0/120 de la région de Vesoul répondant aux caractéristiques suivantes :

- coefficient Los Angelès inférieur à 30;
- Deval humide des matériaux de carrières supérieur à 4;
- équivalent de sable visuel supérieur à 30.

Ces matériaux (environ 44 000 m³) ont été mis en œuvre par couches de 0,70 m maximum compactées à l'aide de compacteurs lourds à rouleaux vibrants.

Organisation des transports. L'utilisation de trains de travaux a été limitée aux phases de pose et de dépose des cintres (wagon érecteur de cintres et wagon de stockage des cintres) et à la mise en place des fossés latéraux préfabriqués au pied des talus (wagon pour approvisionnement des éléments de fossés et wagon avec toupie à béton).

Tous les autres transports ont eu lieu par engins routiers.

Sécurité du chantier. Le Chef d'interception chargé de la sécurité du chantier se trouvait en gare de Port-sur-Saône et était relié par téléphone à deux sentinelles assurant, de part et d'autre du tunnel, la couverture du chantier.

Ce dispositif a été complété :

- pendant les travaux de terrassement de la 2^e phase, par la mise en place d'une sentinelle supplémentaire chargée de la surveillance de la circulation des engins de terrassement lors de la descente de la piste entre le chantier et l'aire du dépôt;
- pendant les travaux de démolition de la voûte,

par la mise en place d'un agent, secondé par deux ouvriers de l'entreprise, pour le dégagement des gravois qui tombaient sur la voie ferrée. De plus, un protecteur se trouvait sur l'extrados de la voûte; son rôle était de faire arrêter les engins de terrassement et de démolition à l'annonce des trains ou en cas de danger signalé par l'agent de surveillance en tunnel. Tous ces agents étaient en relation téléphonique avec le Chef d'interception.

Contrôles des opérations. Ils ont porté sur :

- le débit des pointes filtrantes :

mesuré journallement, il a permis, en fonction des mesures faites, de décider de l'arrêt des lignes supérieures de pointes filtrantes lorsque le rabattement de la nappe était repris par les lignes inférieures;

- la stabilité de la maçonnerie du tunnel :

par mesures de convergence au Distomatic;

- la granulométrie des matériaux des masques drainants;

- la qualité de compactage.

3.5. Difficultés rencontrées et enseignements à tirer

Les principales difficultés ont été rencontrées avant les travaux, à l'occasion des contacts avec les collectivités ou les particuliers. Il a été très difficile d'abord de faire admettre l'utilisation de prairies ou de zones boisées pour y déposer des déblais, ensuite de réaliser l'achat des terrains concernés par l'opération. Des exigences, normales, de rétablissement de la qualité du site ont été imposées à la S.N.C.F.

Pendant les travaux, l'obstacle essentiel a été la pluie. En effet, à la suite de périodes très pluvieuses, la circulation des engins de terrassement a dû être arrêtée à plusieurs reprises en raison de la décomposition de la marne qui se transformait, au contact de l'eau, en une couche de boue impraticable.

Les travaux se sont déroulés sans mauvaises surprises grâce à la qualité des investigations et des études préliminaires. Les hypothèses hydrogéologiques se sont révélées, à l'exécution, très exactes.

3.6. Consistance des travaux. Planning. Coût

Ces travaux ont été exécutés en 14 mois de juillet 1978 à septembre 1979.

Les terrassements ont concerné approximativement :

- 588 000 m³ de déblais;
- 623 000 m³ de remblais (mise en dépôt et masques drainants).

Le coût de l'opération se décompose comme suit (prix H.T.) :

- achat de terrains (y compris frais et indemnités) : 350 000 F;

- travaux de mise à ciel ouvert : 23 000 000 F;
 - travaux de voies et d'assainissement de la plateforme : 1 200 000 F
- ce qui fait ressortir un prix moyen au mètre cube terrassé de l'ordre de 42 F (prix 1979).

III. DÉVIATION DE LA LIGNE

Nous donnerons ici quelques exemples de chantier où l'on a dû se résoudre après études comparatives à abandonner le tracé ancien, avec le tunnel existant, et prévoir la déviation de la ligne.

1. Déviation avec mise en tranchée : le tunnel de Colmey

Le tunnel de Colmey long de 281 m est situé sur la ligne Mohon à Thionville entre les gares de Charency-Vezin et Longuyon.

Cette ligne à double voie, électrifiée en 25 kV, suit la vallée de la Chiers et le tunnel franchit un éperon occupant un méandre de cette rivière.

Cet éperon est constitué de bancs de calcaire oolithique plus ou moins grossier, sensiblement horizontaux mais fracturés et désorganisés par des remplissages argileux.

1.1. Problèmes posés

Le tunnel a été construit en 1860-1861 en moellons de calcaire jaunâtre provenant des carrières de la Région. Les maçonneries gélives et fracturées ont subi à partir de 1880 de nombreuses réparations localisées du parement par briquetage de 0,11 à 0,22 d'épaisseur après refouillement des maçonneries jusqu'à la partie saine. La surface de parement réparée suivant cette méthode représente près de 50 % de la surface totale.

En préalable à l'électrification en 25 kV, des travaux de remise en état ont été effectués en 1953-1954.

Une campagne de sondages exécutée en 1973-1974 a montré qu'il était indispensable de remédier dans un avenir proche à l'état du tunnel en raison :

- de l'humidité quasi générale des parements;
- de l'hétérogénéité des maçonneries;
- de la faible épaisseur des maçonneries, souvent inférieure à 0,40 m;
- de la mauvaise qualité des joints;
- de la présence de vides importants à l'arrière des maçonneries;
- de la fragmentation du terrain encaissant aux abords immédiats du souterrain.

1.2. Choix de la solution

L'exécution de travaux étant décidée, trois solutions furent étudiées et chiffrées ⁽²⁾.

Solution 1 : Réparation du tunnel. Cette solution prévoyait la reconstruction complète du revêtement à la faveur d'un T.C.T. sur voie centrale et à l'abri de cintres lourds.

La durée approximative du chantier était de 9 mois.

La dépense s'élevait à 14 MF auxquels il convenait d'ajouter 0,25 MF pour la commande du poste provisoire de T.C.T. et 1,75 MF relatif aux frais de ralentissements et de détournements des trains.

Solution 2 : Mise à ciel ouvert. Cette solution qui nécessitait de surcroît la déviation de la route départementale située au-dessus du tunnel s'élevait à 16,6 MF.

Solution 3 : Déviation par tranchée. Cette solution apparut rapidement très satisfaisante en raison :

- de son moindre coût : 13,4 MF,
- de la possibilité d'amélioration du tracé des voies qu'elle permettait;
- de l'absence de gêne pour le trafic pendant la durée des travaux ⁽³⁾;
- des économies ultérieures d'entretien dues à la suppression du tunnel.

1.3. Mise au point du projet

Dès juin 1975, une campagne de sondages fut lancée en vue de déterminer :

- la valeur des pentes optimales et la géométrie à donner aux talus de déblais pour assurer leur stabilité en cours d'exécution des travaux et à long terme;
- le mode de terrassement préconisé et la distance minimale à respecter entre le tunnel et la déviation;
- l'estimation des nouvelles contraintes appliquées au tunnel au cours des terrassements et à long terme.

Elle a mis en évidence suivant l'axe de la tranchée projeté trois zones de longueur sensiblement égale :

- les zones d'extrémité constituées d'éboulis formés pour l'essentiel de blocs de calcaire noyés dans une argile brun-rouge de décalcification;
- la zone médiane où l'on trouve une couche superficielle d'alluvions et d'éboulis recouvrant une formation rocheuse appartenant au bajocien et comprenant de haut en bas plusieurs assises calcaires : à grains fins, spatiques, oolithiques plus ou moins grossier.

⁽²⁾ Tous les prix des estimations et règlements ont été actualisés aux prix de juin 1978.

⁽³⁾ En cours des travaux de terrassements, il fut cependant mis en place une limitation de vitesse à 60 km/h à la traversée du tunnel en raison de la proximité de la tranchée.

L'étude de ces investigations permet l'établissement du projet qui comprenait la réalisation :

- d'une tranchée à ciel ouvert pour déviation de la ligne au droit du souterrain;
- d'un chemin latéral pour relier un chemin d'exploitation existant au CD 29C en empruntant un passage à niveau existant;
- du prolongement des aqueducs existants et la création de traversées sous voies.

La déviation d'une longueur totale de 1 065 m s'écartait de 50 m au maximum du tunnel. Le tracé comportait deux courbes de 800 m de rayon et une de 2 000 m ce qui représentait une amélioration par rapport au tracé ancien et permettait un relèvement de la vitesse à 130 km/h.

Au niveau de la plate-forme ferroviaire la largeur de déblais était de 14 m et les profils en travers de la zone en tranchée comportaient :

- des talus à pente 1/1 dans les zones d'éboulis des extrémités du massif;
- dans la zone centrale où la hauteur maximale des talus atteignait 30 m, trois gradins de 10 m de hauteur pentés à 1/5 et séparés par des risbermes de 4 m de largeur.

1.4. Déroulement des travaux

Après appel d'offres ces travaux furent attribués à l'Entreprise Muller Frères de Boulay (Moselle). Les terrassements furent exécutés du 1^{er} juin au 28 octobre 1976.

Le volume des déblais atteignit 268 170 m³ et fut réalisé entièrement par défonçage au bull ripeur Caterpillar D9 de 395 ch.

L'entreprise disposait également sur le chantier d'une pelle Poclain LC 80 pour assurer le profilage des talus et la création des tranchées nécessaires à l'assise du dépôt de déblais.

Le chargement et l'évacuation des déblais étaient assurés par un chargeur Caterpillar 988 de 275 ch, capacité du godet 3 m³, deux dumpers Caterpillar 969 de 170 ch, capacité 3 m³ et quatre camions de 15 t (fig. 14).

En cours d'exécution des déblais apparut un diaclasage intense accompagné de karstifications qui hachait le massif suivant des plans verticaux d'orientation Nord-Sud. Cette constatation conduisit à élargir l'emprise de la tranchée côté opposé au tunnel afin de réserver la possibilité d'aménagement de pièges à cailloux. La largeur de la tranchée au niveau de la plate-forme fut donc portée à 16,00 m et les risbermes situées aux niveaux + 10 m et + 20 m respectivement à 8,00 m et 10,00 m de largeur.



Fgi. 14. — Tunnel de Colmey. Terrassement en cours.

Cependant à l'achèvement des travaux de terrassement, il apparut que cette mesure était insuffisante et qu'il était à craindre que l'évolution à court et moyen terme des talus à 1/5 conduise à l'apparition de dégradations telles que :

- vidange des karsts sous l'effet de l'érosion et de la pente avec accumulation des matériaux sur les risbermes et au niveau de la plate-forme;
- déchaussement des blocs sous l'effet gel-dégel et de la pluie;
- « sous-cavage » avec surplombs à la base de la tranchée dû à la présence de lits marneux.

L'exécution de travaux confortatifs fut donc décidée.

1.5. Travaux de confortation

Le 29 septembre 1976, un appel d'offres fut lancé pour ces travaux qui comprenaient :

- pour les zones ébouleuses des extrémités de la tranchée, l'établissement de pièges à cailloux;
- pour les talus supérieurs de la zone centrale :
 - la purge des karsts filoniens de largeur comprise entre 1 et 5 m et protection par des masques maçonnés,
 - la purge superficielle des parois et la mise en place de filet métallique,
- pour les talus inférieurs de la zone centrale une confortation pouvant faire l'objet de variantes.

Après négociations, c'est la proposition de l'Entreprise Demathieu et Bard qui a été retenue. Elle consistait en l'établissement en partie centrale de murs-

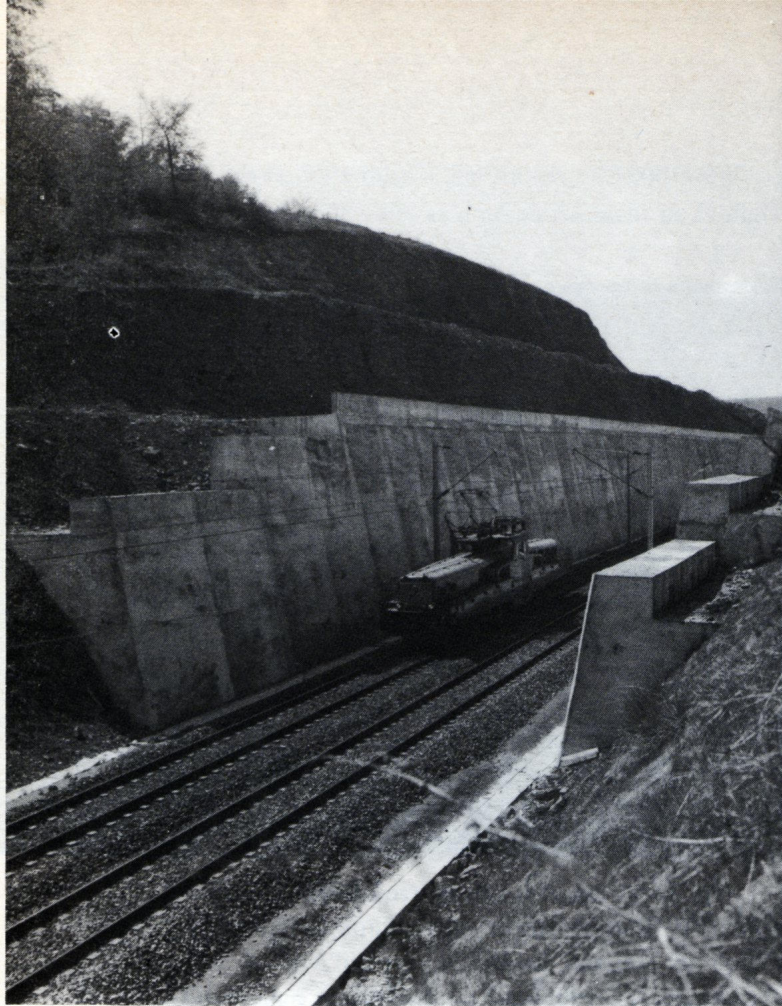


Fig. 15. — Tunnel de Colmey.
Mur-poids en partie centrale.



Fig. 16. — Tunnel de Colmey.
Murs de pied dans les zones d'extrémité.

poids de près de 10 m de hauteur et de 2 m d'épaisseur minimale, et dans les zones d'extrémités de murs-cornières en béton armé de 3 m de hauteur.

Cette solution offrait une bonne sécurité d'exécution, donnait à l'ouvrage le meilleur aspect définitif et garantissait une bonne tenue de la tranchée à long terme. Elle permettait de plus la confection aisée du piège à cailloux au niveau de la première risberme par construction d'un mur en béton ancré sur ce mur poids (fig. 15 et 16).

L'ensemble de ces travaux de confortation fut exécuté dans la période du 2 mai au 3 octobre 1977.

Les murs-poids établis dans la zone centrale sur une longueur de 276 m ont nécessité la mise en œuvre de 14 480 m³ de béton composé d'agréats de laitier 0/50 dosé à 250 kg de ciment CPAL 400. La construction a été réalisée avec un avancement journalier de 4,00 m correspondant à la longueur de l'équipage. Pour permettre le décoffrage et l'avancement journalier de l'équipage, il était nécessaire d'obtenir une résistance à la compression du béton de 40 bar à 16 heures.

L'équipage circulant sur un chemin de roulement de 6 m de largeur établi dans l'axe de la tranchée permettait la construction simultanée des deux murs latéraux par plots de 4,00 m (fig. 17).

Sur cet équipage étaient montés :

- les coffrages latéraux distants de 12,00 m au niveau de la plate-forme et comportant un fruit de 1/5. Ces coffrages montés sur vérins permettant leur translation horizontale étaient munis de vibreurs pneumatiques;

- sur une plate-forme inférieure : deux silos à ciment permettant l'alimentation par camions citerne, équipés chacun d'une bascule automatique permettant le dosage précis et d'un convoyeur à vis sans fin transportant le ciment jusqu'au skip de la bétonnière;

- sur une plate-forme intermédiaire une citerne à eau alimentée par un puits creusé à proximité de la rivière;

- sur une plate-forme supérieure, deux bétonnières dont le skip d'alimentation pouvait descendre au niveau du terrain pour les chargements en agrégats et ciment. Le béton était déversé sur une bande transporteuse transversale alimentant directement l'un ou l'autre des deux murs.

Les parties supérieures de la zone centrale furent purgées et protégées par des filets métalliques ancrés à leur partie supérieure. La surface de filets mise en place est de 4 920 m².

Après purge des karsts, il a paru inutile de confectionner les masques maçonnés prévus initialement.

1.6. Travaux de plate-forme

En raison de l'affleurement de blocs rocheux et de l'inégalité du fond de fouille, il est apparu nécessaire avant de réaliser le matelas sous voie d'établir une couche de forme en laitier 0/200 de 0,30 d'épaisseur.

Au-dessus de cette couche de forme a été réalisée la mise en place des structures d'assise comprenant un feutre anticontaminant protégé par une couche de sable 0/6 de 0,15 d'épaisseur et une sous-couche en grave de Moselle 0/31,5 de 0,40 d'épaisseur.

Les travaux de pose de voie U 80 en longs rails soudés sur traverses en béton VAX U 30 ont été réalisés du 19 septembre au 1^{er} octobre 1977 par l'Entreprise Fourchard et Renard de Bar-le-Duc.

1.7. Enseignements à tirer de ce chantier

Quoique le délai global ait été allongé de 10 mois en raison de l'étude et de l'exécution des travaux de confortation, ce chantier exécuté en site propre s'est déroulé sans incidence sur les circulations et dans des conditions de sécurité optimale.

L'un des enseignements que l'on peut tirer de ce chantier concerne la part d'imprécision qui résulte des études de sol (sondage et essais géophysiques) qui n'a pas permis de déceler expressément certaines anomalies. Ce fut le cas en particulier de la zone centrale où la consistance du massif avait été jugée beaucoup plus compacte et où environ la moitié de la masse avait été réputée à « ripabilité douteuse » pouvant entraîner l'exploitation à l'explosif.

Il aurait été souhaitable dans un tel cas de réaliser un terrassement d'essai permettant de lever les doutes existants en particulier pour la zone centrale.

1.8. Coût des travaux

Les dépenses totales du projet se sont élevées à 15 MF ce qui représente un dépassement du projet initial de 12 %. Compte tenu que les confortations proprement dites ont représenté une dépense de 3,06 MF les dépenses réelles correspondant au projet initial représentent un gain de 3,4 %. Ceci est dû en particulier au prix très favorable obtenu pour les terrassements, payés par prix de bordereau :

— déblais en terrain marneux : 6,16 F, par mètre cube;

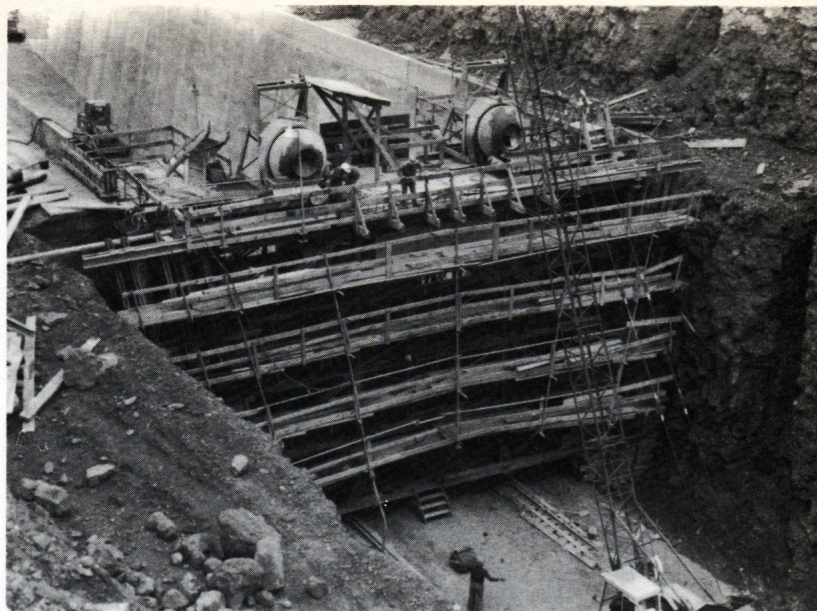


Fig. 17. — Tunnel de Colmey. Équipage mobile.

— déblais en terrain rocheux : 7,77 F par mètre cube.

2. Déviation avec percement de nouveaux tunnels. Les tunnels de la Pommeraie et de Marnay (⁴)

2.1. Site et historique de ces tunnels

Les tunnels de La Pommeraie et de Marnay de 298 et 199 m de longueur sont situés sur la ligne de Paris à Mulhouse entre les gares de Foulain et de Vesaigues-sur-Marne et ont été creusés dans les contreforts du plateau découpé par la vallée de la Marne sur les communes de Poulangy et de Marnay.

Les terrains encaissants se composent en partie haute d'un horizon calcaire très fracturé surmontant un épais banc de marne dans lequel sont creusés les tunnels. Ces marnes sont très altérables à l'air (fig. 18).

La construction de ces tunnels de 1855 à 1857 a donné lieu à un certain nombre d'incidents :

— instabilité des tranchées d'attaque ayant nécessité l'allongement des tunnels;

— éboulements en galerie avec fortes venues d'eau.

Ces difficultés se traduisent par des épaisseurs de maçonnerie très variables, des défauts de clavage et des

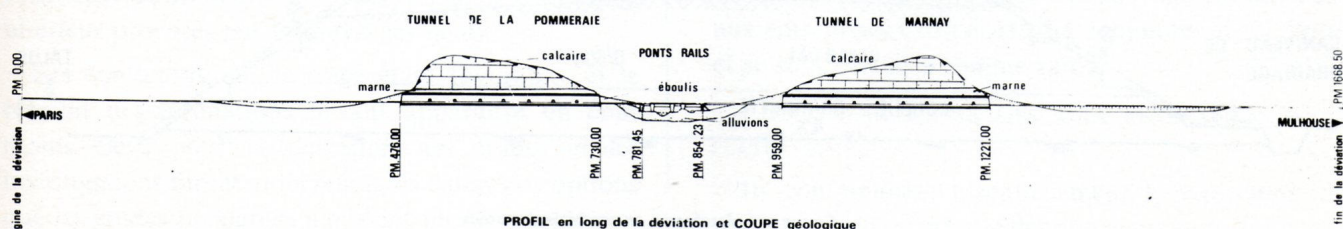


Fig. 18. — Tunnels de La Pommeraie et de Marnay. Profil en long et coupe géologique.

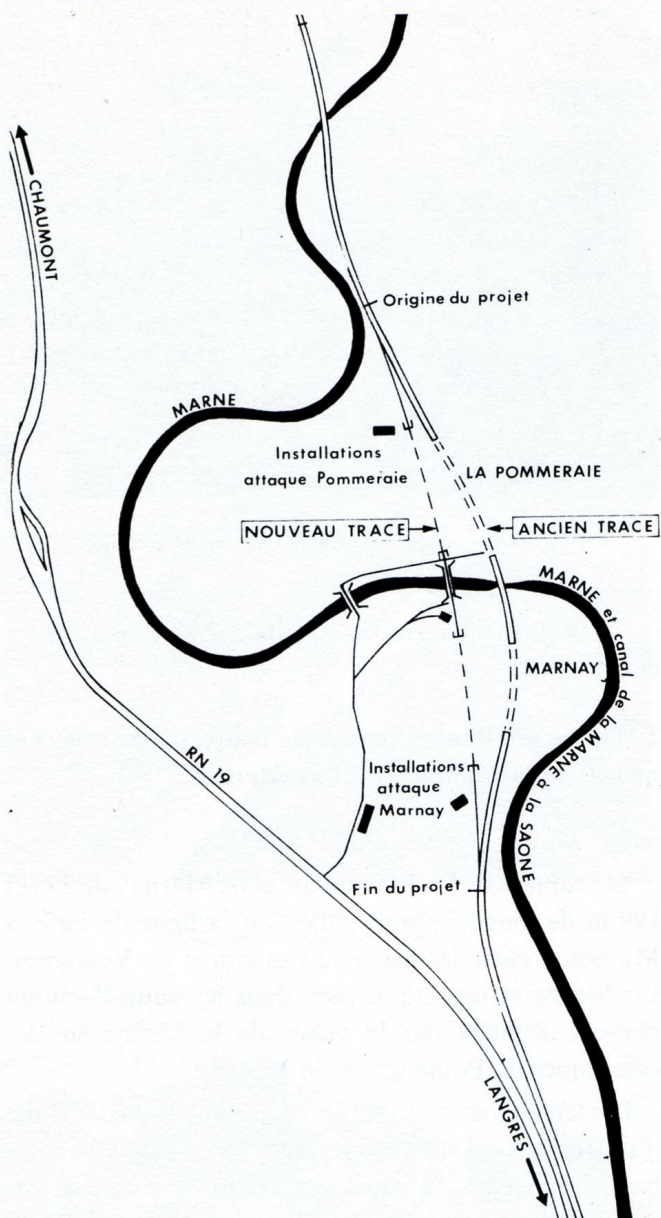


Fig. 19. — Tunnels de La Pommeraye et de Marnay. Tracé de la déviation.

irrégularités géométriques qui poseront par la suite des problèmes pour l'insertion du gabarit et le tracé des voies.

De 1898 à 1904, on dut procéder à d'importants travaux de réfection, dont 32 m de reconstruction de voûte et à cette occasion on découvrit dans le tunnel de La Pommeraye deux excavations importantes au-dessus de la voûte (dont l'une de 600 m³) qui atteignaient le banc calcaire susjacent. Ces cloches furent confortées par la construction de murs maçonnés.

2.2. Problèmes posés

Malgré des rescindements et recoupes de maçonnerie exécutées dans une période récente en vue d'améliorer le tracé des voies et le débouché de ces ouvrages, la traversée de La Pommeraye et Marnay constitue un point singulier de l'itinéraire Chaumont-Langres. Du fait des épaisseurs insuffisantes du ballast, la tenue de la voie est très médiocre et le confort s'en ressent. Le gabarit extrêmement réduit annule les marges d'entretien de la voie. La vitesse des trains est limitée à 120 km/h alors qu'elle peut être rapidement portée à 140 km/h sur l'itinéraire.

Par ailleurs, le vieillissement naturel des matériaux constitutifs du revêtement accéléré par la percolation des eaux et l'effet du gel, les défauts d'origine des ouvrages éventuellement accentués par les rescindements et la mauvaise tenue des marnes du terrain encaissant conduisent à envisager dès 1972 la remise en état générale de ces souterrains.

2.3. 1973-1975 Les premières études

Elles ont porté tout naturellement sur les solutions classiques de reprise des ouvrages existants qui se traduisent, compte tenu de l'état des maçonneries anciennes et des améliorations de gabarit, par la reconstruction totale du revêtement.

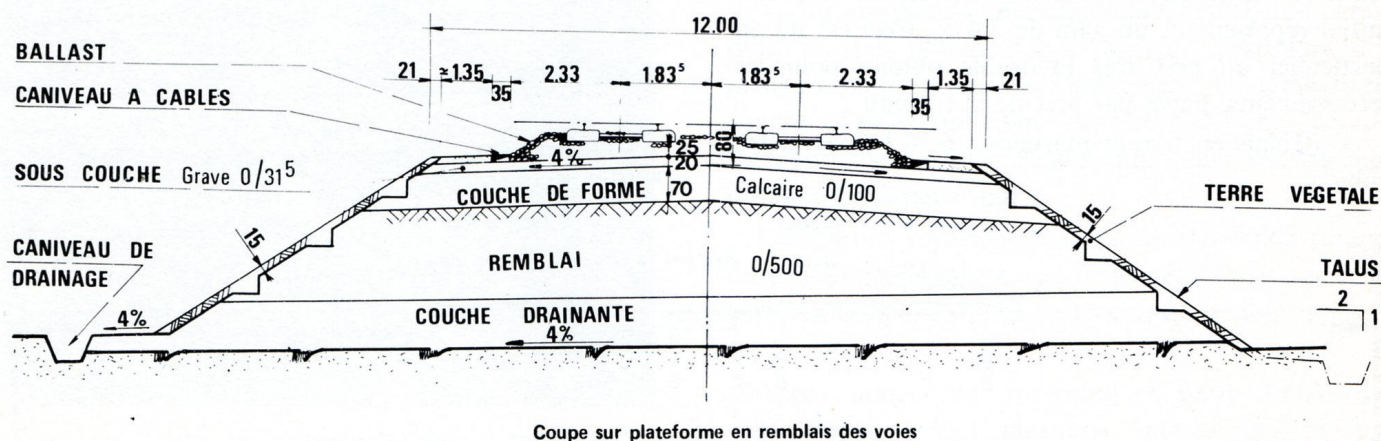


Fig. 20. — Tunnels de La Pommeraye et de Marnay. Coupe sur plate-forme en remblai.

La circulation des trains étant à maintenir dans les ouvrages cette solution bien que possible s'avère délicate, longue et coûteuse. De l'expérience de chantiers antérieurs, il se dégage que les travaux de voûte impliquant le travail sur portiques dans l'embarras des cintres, le marinage latéral dans des espaces exigus, excluent la mécanisation lourde, amènent des conditions de travail difficiles qui se traduisent par des rendements très faibles. Par ailleurs cette solution apporte de notables perturbations à l'exploitation ferroviaire de la ligne (ralentissement à 30 km/h, circulation en voie unique).

Durant cette phase d'étude on envisagea également la mise à ciel ouvert des tunnels, possible compte tenu des hauteurs de couvertures relativement faibles (27 m maximum pour La Pommeraie, 20 m pour Marnay). Mais cette solution séduisante à première vue présente également un certain nombre de difficultés : le travail au-dessus des ouvrages exploités et le mauvais état des maçonneries exigent une mise sur cintres avec couchis jointif qui impose une exploitation à voie unique. Les terrassements dans le calcaire nécessitant le recours à l'explosif, les tirs ne peuvent avoir lieu qu'en intervalles de circulation pour d'évidentes raisons de sécurité. Enfin, la mauvaise tenue des marnes impose, de façon à réduire le volume des terrassements, un encoffrement exécuté en parois moulées avec butonnage horizontal ce qui complique la démolition déjà délicate des ouvrages existants par le dessus.

Enfin cette solution ne résoud pas les problèmes posés par la mauvaise tenue de la plate-forme sauf à entreprendre des travaux spécifiques importants et coûteux car la présence des ponts sur la Marne et le canal interdit pratiquement tout relèvement du profil en long.

En définitive, la solution découverte des tunnels s'avère plus onéreuse que les solutions « classiques » et présente également un certain nombre d'aléas.

2.4. 1975 Nouvelle orientation des études

Devant ces difficultés conduisant nécessairement à des coûts de travaux très élevés, la S.N.C.F. examine alors une solution de déviation définitive de la ligne avec abandon des ouvrages anciens. Ce type de solution présente l'avantage d'une exécution en dehors de toute contrainte de circulation en plus des gains d'entretien ultérieur procurés par les ouvrages neufs.

Les configurations de tracé étant favorables et le résultat des estimations faisant apparaître un coût moins élevé pour la déviation, les études et les investigations furent alors relancées dans deux options que les études préalables n'avaient pu départager :

- déviation définitive en tranchée:

— déviation définitive avec franchissement des contreforts en tunnel.

2.5. Enquêtes administratives

Parallèlement la S.N.C.F. menait à bien les opérations administratives imposées par le nouveau tracé.

La conférence mixte à l'échelon central était entreprise en mars 1977 alors que l'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique était lancée en avril 1977.

Il résultait de ces consultations, tant à l'échelon central qu'à l'échelon local, qu'une opposition se manifestait vis-à-vis de la solution tranchée qui présentait l'inconvénient de détruire plusieurs hectares de forêt, d'entraîner une modification trop importante du paysage et de réduire les possibilités de desserte du secteur. Devant ces oppositions et notamment celle du commissaire enquêteur, la S.N.C.F. renonçait à envisager une solution de déviation en tranchée. Il faut d'ailleurs souligner que, grâce à cette option, l'ensemble des acquisitions domaniales, soit 12,5 ha détenus par 23 propriétaires, nécessaires au nouveau tracé et aux dépôts de déblais a pu s'effectuer par voie amiable sans recours à la procédure d'expropriation.

2.6. Mise au point du projet définitif

La déviation se développe sur 1 700 m à l'ouest du tracé actuel (fig. 19 et 18). En tracé en plan les rayons maximaux sont de 1 000 m ce qui permet la vitesse future de 140 km/h retenue sur l'ensemble de la section Chaumont-Langres.

En dehors des ouvrages la plate-forme offre 12 m de large permettant la pose de deux voies à l'entraxe de 3,67 m avec deux pistes cyclables latérales (fig. 20).

L'ouvrage de franchissement de la vallée est un pont-rail à quatre travées indépendantes.

Les tunnels offrent un débouché permettant le passage du gabarit « C » dit « gabarit de l'avenir » et l'électrification de la ligne. En effet, celle-ci est prévue à terme sur cette section de ligne dans le cadre de la modernisation de la grande rocade Rouen-Amiens-Reims-Dijon.

2.7. Déroulement des travaux

Après appel d'offres, les travaux ont été attribués aux entreprises Citra et Heulin conjointes et solidaires et se sont déroulés comme suit.

2.7.1. TERRASSEMENTS LIÉS A LA RÉALISATION DE LA PLATE-FORME

Ils comprennent essentiellement la réalisation du remblai de part et d'autre des nouveaux tunnels jusqu'à la plate-forme existante de la ligne de Paris-Est à

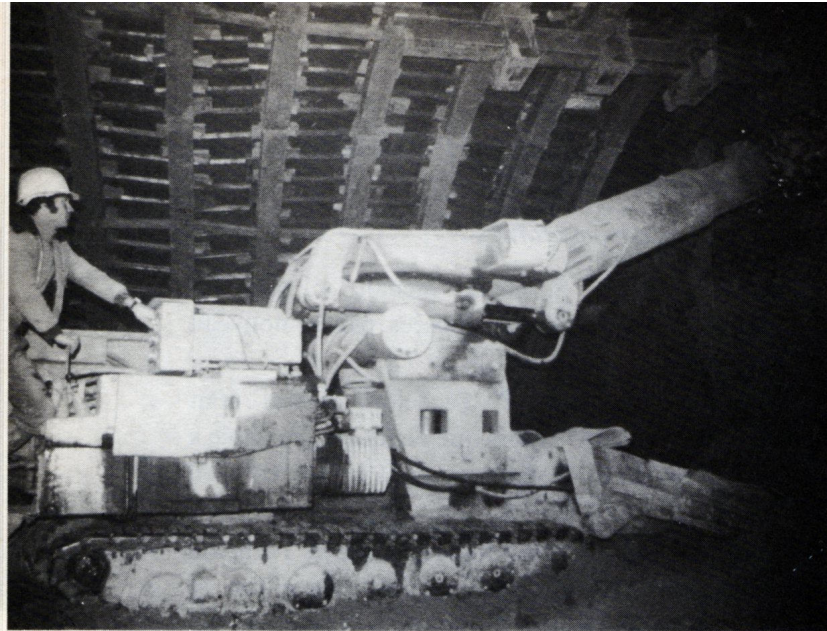


Fig. 22. — Tunnels de La Pommeraie et de Marnay. Machine ponctuelle en action.

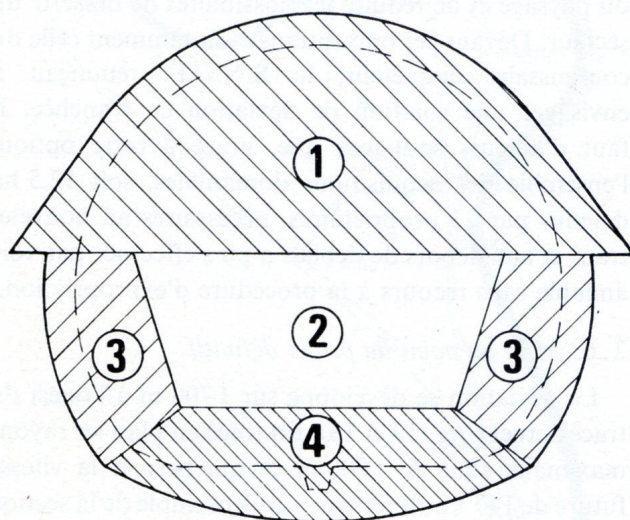


Fig. 21. — Tunnels de La Pommeraie et de Marnay. Phases d'exécution : 1, 1/2 section supérieure; 2, stross; 3, piédroits; 4, radier.

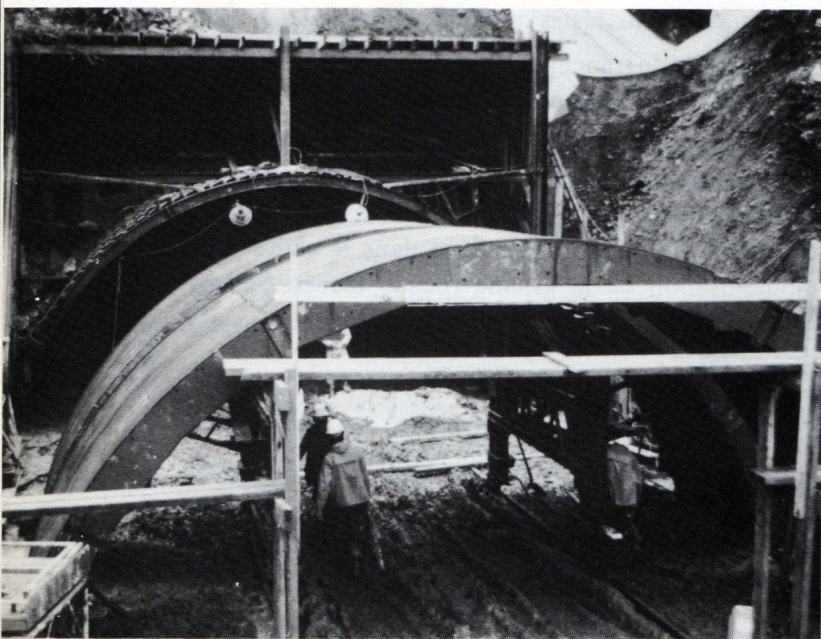


Fig. 23. — Tunnels de La Pommeraie et de Marnay. Coffrages auto-portant.

Mulhouse-Ville, ainsi qu'entre les nouveaux ouvrages et le pont-rail de franchissement de la vallée de la Marne.

Les matériaux d'apport pour la construction du corps de remblai (granulométrie de 0/500) proviennent d'une carrière située sur le territoire de la commune de Marnay-sur-Marne.

Cette carrière a également fourni les matériaux calcaires de granulométrie 0/100 pour exécuter la couche de forme supportant la sous-couche en grave 0/31,5.

Au total ces travaux de terrassement qui s'étendent sur une longueur de 1 200 m environ comprennent de l'ordre de 50 000 m³ de déblais et 33 000 m³ de remblais, ces derniers ayant une hauteur maximale de 8,00 m.

2.7.2. PERCEMENTS DES NOUVEAUX TUNNELS

Les différentes phases du mode d'exécution adopté par l'entreprise sont les suivantes (fig. 21) :

1° Terrassement de la calotte supérieure avec réalisation de la voûte à proximité immédiate du front d'attaque. Afin d'assurer la stabilité de la voûte dans les phases successives, un élargissement de ses appuis (pattes d'éléphant) a été prévu.

2° Réalisation dans un premier temps du pré-terrassement du stross sur une hauteur de 3 m environ et sur toute la longueur du tunnel.

3° Exécution des piédroits par plots alternés de 3,20 m de longueur.

4° Exécution du radier à l'avancement par longueur de 12 m environ.

Le terrassement de la voûte a été effectué partie à la machine ponctuelle Alpine AM 50 (fig. 22), partie à la main, le soutènement étant assuré par des cintres HEA 220 d'espacement variable (0,80 à 1,25 m) en fonction de la nature du terrain rencontré.

Le poste de bétonnage suivait à environ 20 m derrière le front d'attaque du terrassement, le coffrage étant assuré par un jeu de trois coffrages métalliques auto-portants de 3,20 m de longueur mis en place par un portique se déplaçant sur le stross (fig. 23 et 24).

Mis à part un éboulement de près de 100 m³ qui s'est produit dans le tunnel de Marnay après 42 m de percement de la demi-section supérieure, aucun incident notable ne s'est manifesté pendant ces travaux en dépit de la mauvaise tenue des terrains aux têtes (fig. 25) et plus particulièrement à la tête sud du tunnel de Marnay qui nécessita une confortation particulière des talus et un soutènement par mur de pied non prévu initialement.

2.7.3. CONSTRUCTION D'UN OUVRAGE D'ART

L'ouvrage de franchissement de la vallée de la Marne est un pont-rails classique avec tabliers en poutrelles enrobées reposant sur des appuis en béton armé.

Les semelles de fondations reposent sur des pieux moulés dans le sol après forage exécuté à l'abri de tubes provisoires. Ces pieux ont un diamètre de 800 mm et une longueur variable de 7 à 13 m.

Les appuis extrêmes sont constitués par des culées comportant des murs en aile, les appuis intermédiaires étant constitués par des palées pleines.

D'une longueur totale de 72,14 m pour une largeur entre garde-corps, de 9,82 m, cet ouvrage comporte quatre travées indépendantes de 10,87 m, 24,41 m, 10,87 m et 24,41 m (fig. 26).



Fig. 24. — Tunnels de La Pommeraie et de Marnay. Coffrage en place lors du bétonnage de la voûte.



Fig. 25. — Tête nord du tunnel de La Pommeraie.

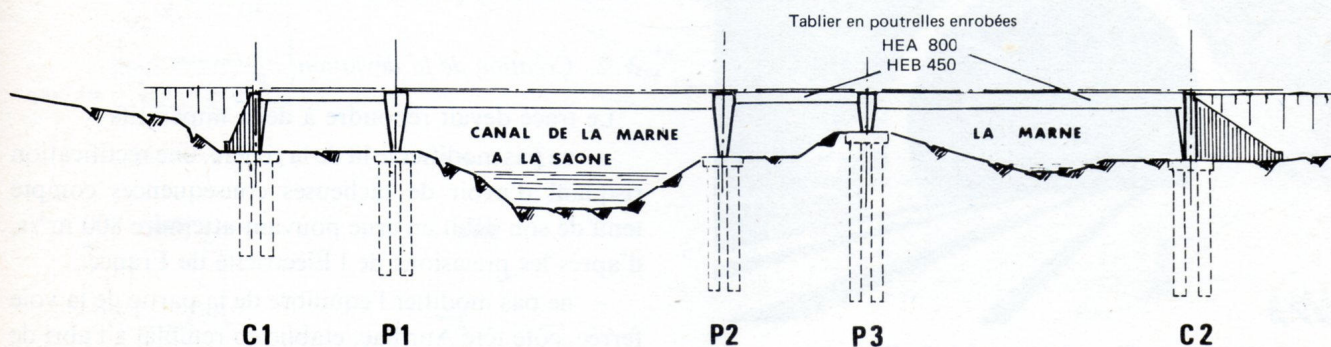


Fig. 26. — Déviation de La Pommeraie et de Marnay. Ouvrages d'art.



Fig. 27. — Vue de la déviation de La Pommeraie et de Marnay, en cours de finition, depuis la tête nord du tunnel de Marnay.

2.8. Coût des travaux

Aux conditions économiques de 1981, l'ensemble des dépenses, y compris acquisitions de terrains et travaux de voie, est de l'ordre de 48 MF. Le règlement des travaux confiés aux entreprises Citra et Heulin est en cours (30 MF environ, y compris les travaux imprévus et la réactualisation des prix).

La figure 27 montre le chantier de déviation en cours de finition vu depuis la tête nord du tunnel de Marnay et la figure 28 montre la tête sud du tunnel de La Pommeraie en fin de travaux.



Fig. 28. — Tête sud du tunnel de La Pommeraie en fin de travaux.

3. Déviation avec construction d'un viaduc : le tunnel de la Verrerie

3.1. Site et historique

Cet ouvrage de 165 m de long situé sur la ligne de Saint-Denis-Près-Martel à Viescamp-sous-Jalles, près de la gare de Lamativie est un des nombreux ouvrages qui permettent à cette ligne à voie unique de longer l'étroite vallée de la Cère en recoupant les multiples éperons rocheux déterminés par les méandres de cette rivière (fig. 29).

Dès sa construction en 1884-1888, cet ouvrage a été soumis à de fortes poussées de la montagne puisque la tête côté Aurillac dut être refaite sur 10 m suite à un mouvement de terrain.

Des fissures apparurent rapidement dans le revêtement et l'on put mettre en évidence vers 1908 un long glissement du tunnel vers la rivière.

En 1910-1911, la tête Aurillac fut consolidée par confection de cinq massif reprenant le piédroit en sous-œuvre.

En 1927 et 1930 d'importants travaux de confortation et notamment la confection de nouveaux contreforts (fig. 30) et d'anneaux de renforcement en béton armé furent entrepris. Ils n'arrêtèrent pas les mouvements, et les fissurations dans le revêtement du tunnel continuèrent à s'aggraver (fig. 31).

En 1960, diverses solutions furent envisagées :

1° déviation de la ligne vers la montagne avec construction d'un nouveau tunnel, coût 3 MF;

2° suppression du tunnel actuel sur 55 m côté Aurillac, confection de murs de soutènement avec tranchée de déblai important, coût 2,5 MF;

3° reconstruction de l'ouvrage, coût estimé à 1,5 à 2 MF;

4° déviation de la ligne vers la Cère avec un tracé de surface coût 1,5 MF.

Après étude géologique, et consultation d'entreprises spécialisées, il apparut que les trois premières solutions et notamment les 2° et 3° solutions étaient pleines d'aléas et que seule la déviation par confection d'un viaduc était la plus sûre et la moins coûteuse.

3.2. Création de la déviation

Le tracé devait répondre à deux impératifs :

- ne pas modifier le lit de la rivière, une rectification risquant d'avoir de fâcheuses conséquences compte tenu de son débit en crue pouvant atteindre 800 m³/s, d'après les prévisions de l'Électricité de France;

- ne pas modifier l'équilibre de la partie de la voie ferrée, côté tête Aurillac, établie en remblai à l'abri de murs de soutènement.

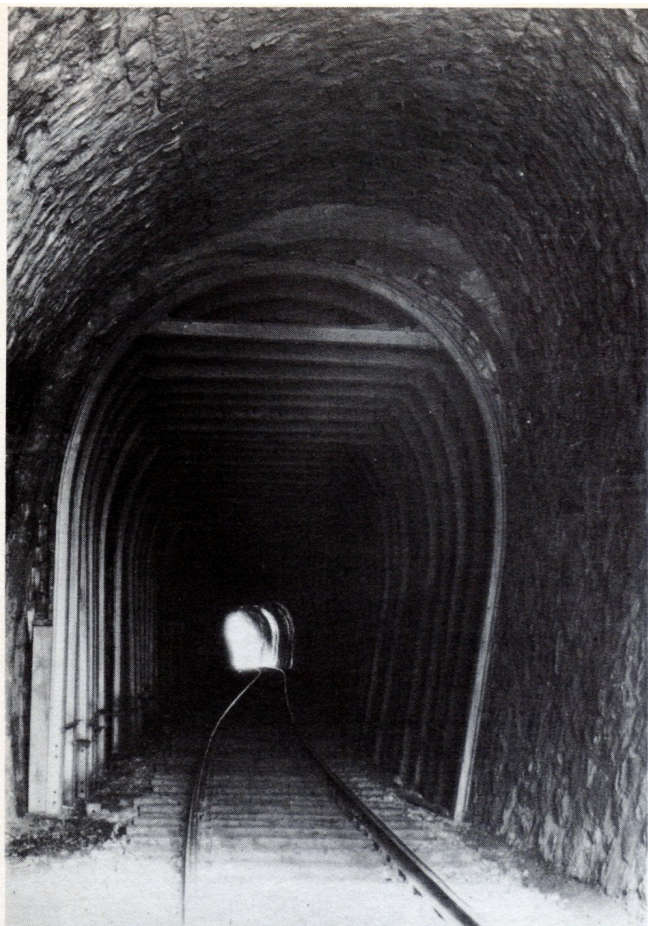


Fig. 31. — Tunnel de la Verrerie.
Déformation du tunnel mis sur cintres.

Le projet définitivement adopté prévoyait donc l'établissement de la déviation sur la rive gauche de la Cère en épousant au mieux son tracé. Compte tenu que dans cette zone, à la suite d'accidents causés par la chute de blocs, la vitesse étant réduite à 50 km/h par arrêté ministériel, l'ouvrage à construire fut donc prévu en courbe et contre-courbe de 155 m de rayon moyen (fig. 32).



Fig. 29. — Tunnel de la Verrerie.
La Cère au droit de la tête Aurillac du tunnel.

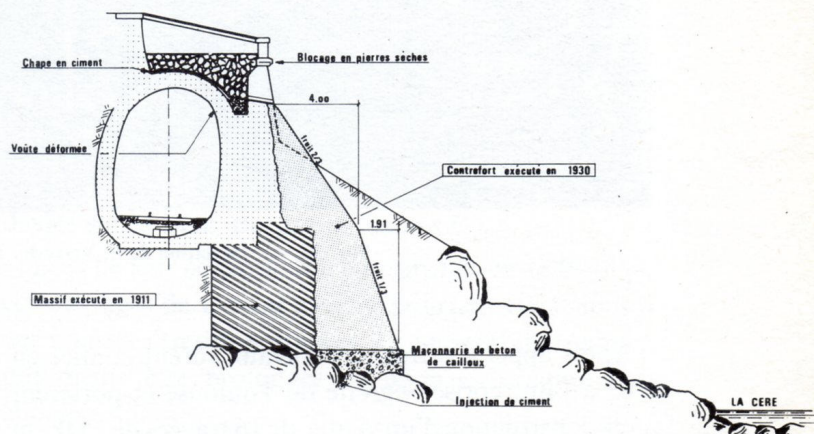


Fig. 30. — Tunnel de la Verrerie.
Coupe transversale à la tête Aurillac.

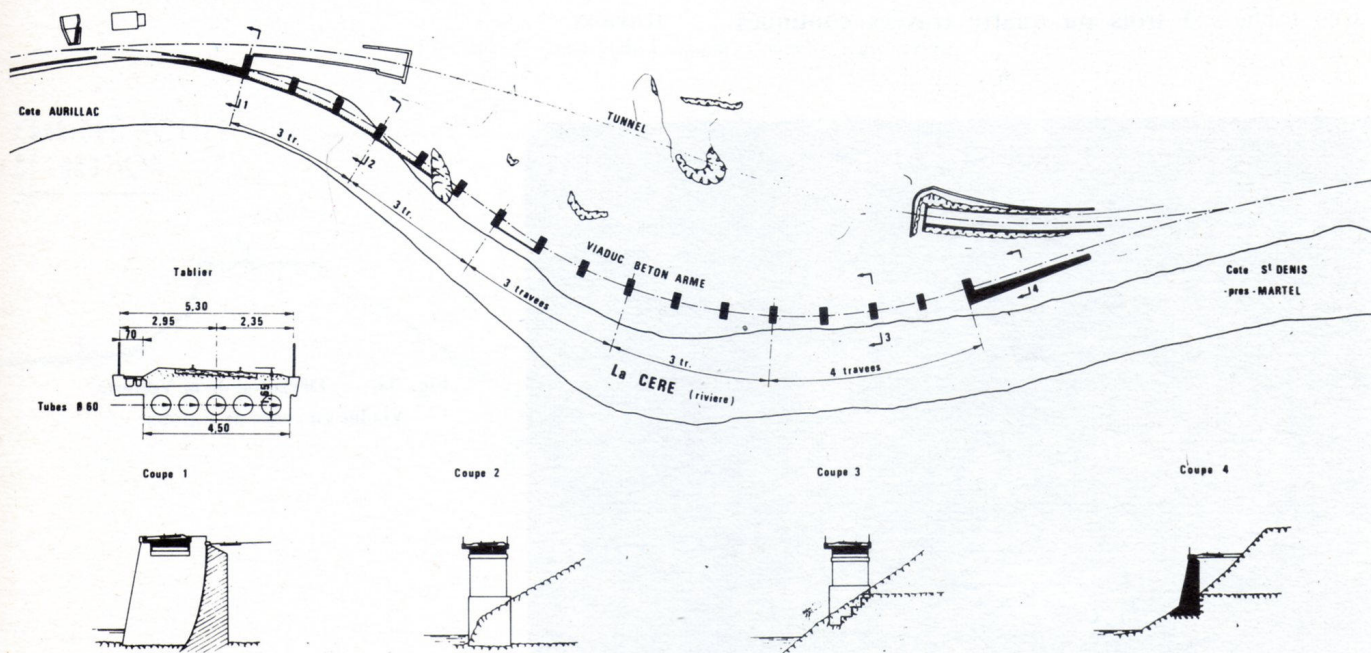


Fig. 32. — Tunnel de la Verrerie. Déviation de la ligne par viaduc.

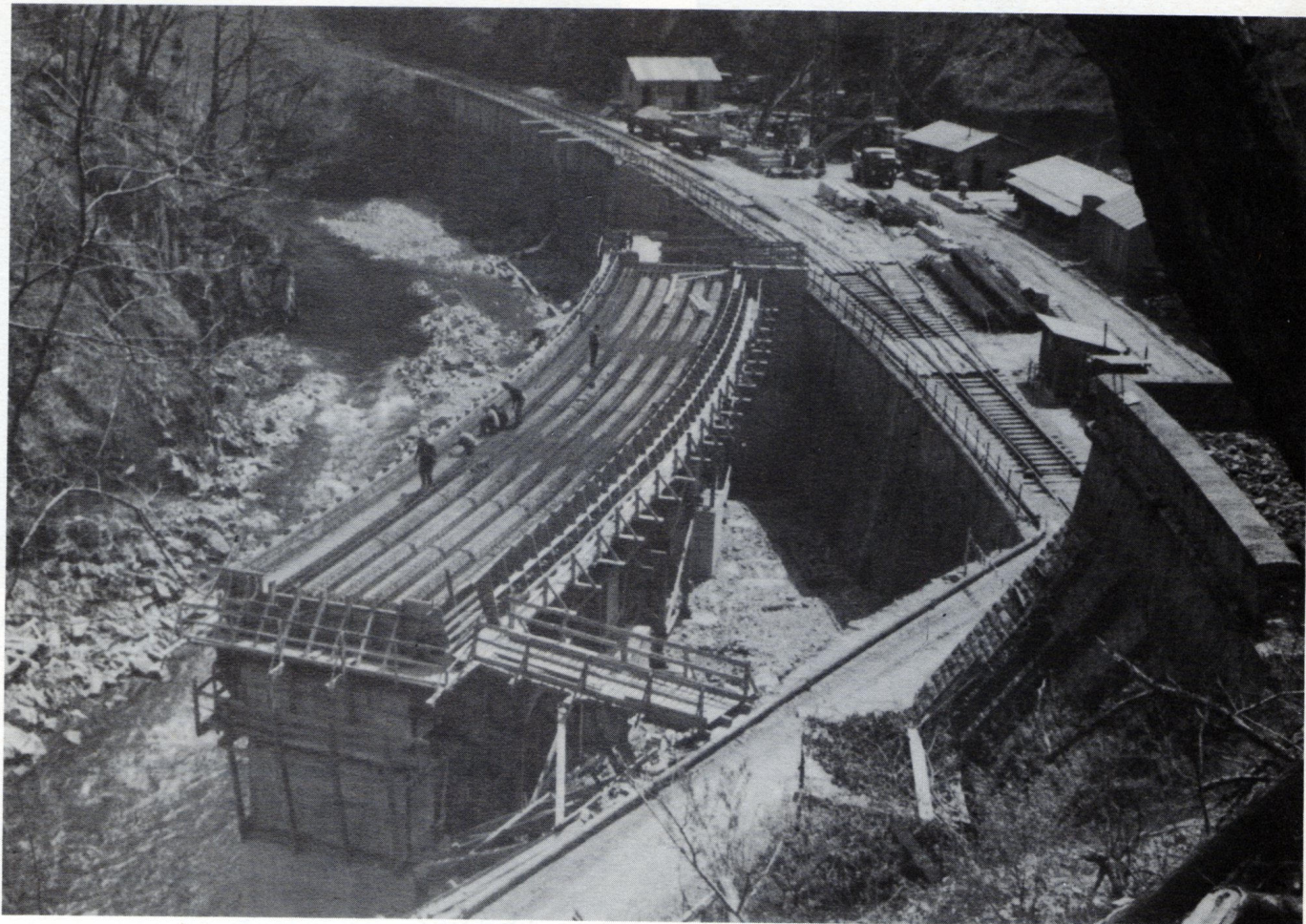


Fig. 33. — Déviation de la Verrerie. 1^{er} tablier côté Aurillac en cours d'exécution.

Après appel d'offres, ces travaux furent confiés en 1962 à l'Entreprise Segrette de Toulouse et portèrent sur la construction d'un viaduc de 16 travées de 15,00 m constituées de dalles en béton armé allégées par cinq tubes de 0,60 m de diamètre.

Ces tabliers à trois ou quatre travées continues

prenaient appuis sur 15 piles en béton armé établies jusqu'au bon sol (12 bar) et deux culées de part et d'autre prolongées par des murs de soutènement.

Les figures 33 à 35 montrent l'ouvrage en cours de construction et la situation après achèvement des travaux.

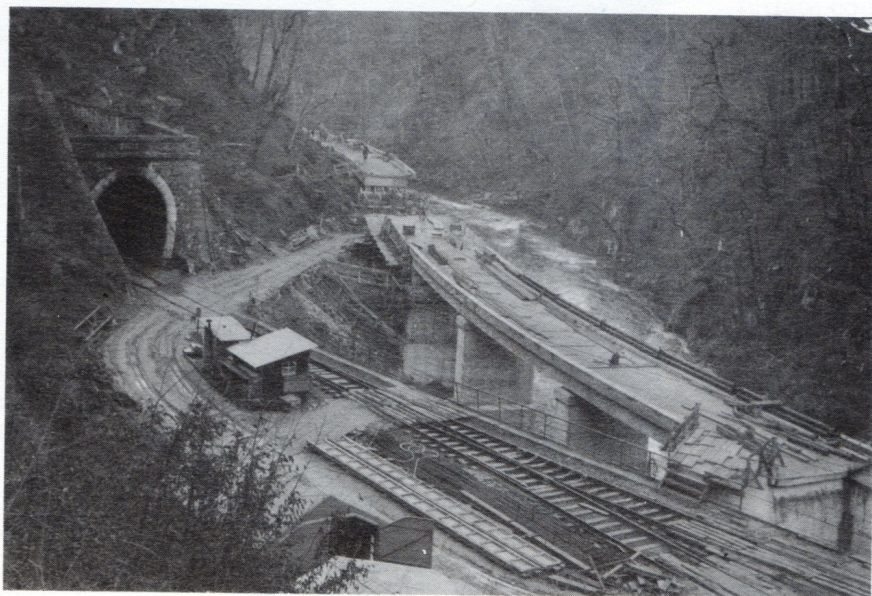


Fig. 34. — Déviation de la Verrerie.
Viaduc en cours de travaux.

A black and white photograph of a large concrete dam. The dam features a prominent curved spillway in the foreground and a tall, narrow abutment structure with a semi-circular opening. The dam is situated in a mountainous area with steep, rocky slopes and sparse vegetation. A river or stream flows at the base of the dam. The image is oriented horizontally on the page.

Nous avons vu par quelques exemples qu'à la remise en état de tunnels existants, on a pu pour des motifs divers être amené à préféré d'autres solutions moins classiques telle que mise à ciel ouvert des tunnels existants ou déviation de la ligne.

coûteuses, hors de proportion avec l'intérêt attaché au maintien de cet ouvrage;

– c'est le cas du tunnel de Miserey sur la ligne Besançon-Vesoul, ouvrage de faible longueur (33 m) qui faisait partie d'un ensemble avec un réservoir maçonné enterré dans le talus, dont il devait assurer la stabilité. Ce réservoir étant hors service la présence du tunnel n'était plus justifiée. Sa démolition en 1973 fut donc décidée, ce qui évita des réparations plus

Lors de leur construction en tranchée en 1846-1850, ces ouvrages de versant avaient pourtant été soumis à des poussées très importantes. La tête sud du tunnel 5 dut même être prolongée de 63 m à la suite d'un éboulement.

Fig. 36. — Tunnels de Lormont. Coupe en travers type.

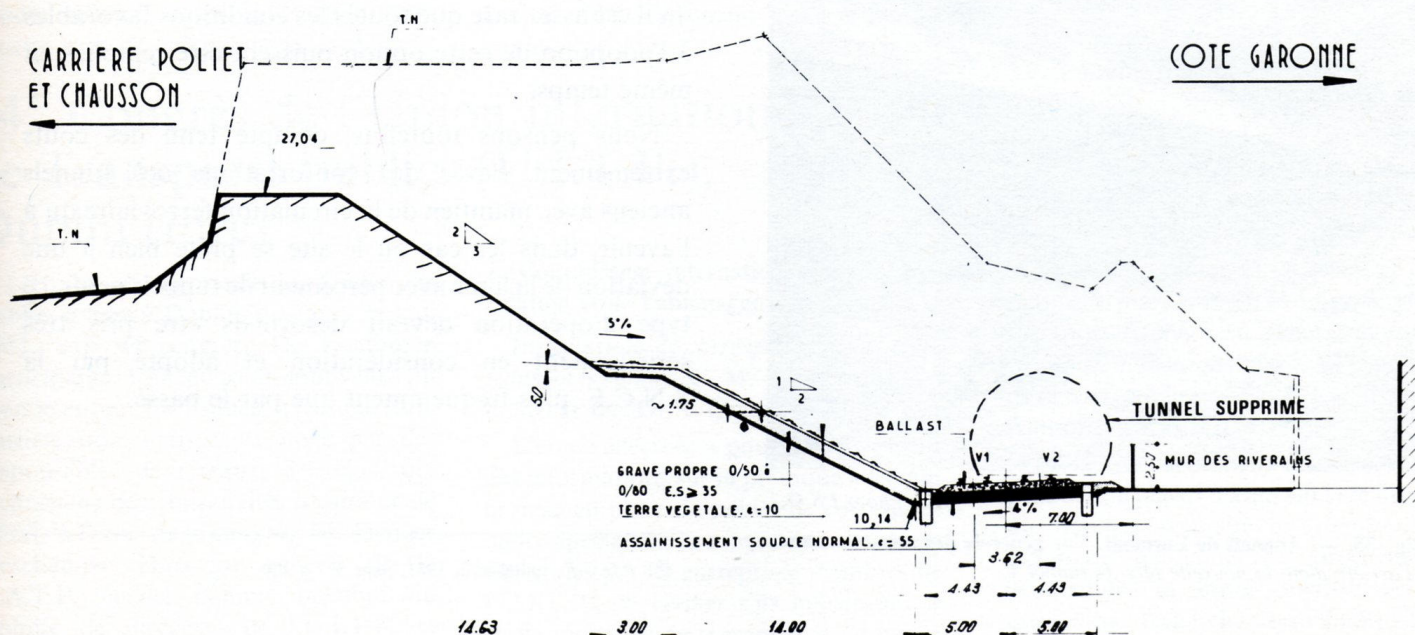




Fig. 37. — Tunnels de Lormont. Démolition du tunnel 5.
A l'arrière plan, l'ancienne tête sud du tunnel 4.

Du fait de l'exploitation de la carrière Poliet et Chausson à la limite de ces ouvrages, le site original s'est trouvé considérablement modifié et rien ne s'opposait plus à la démolition de ces ouvrages en dehors de toute circulation ferroviaire (fig. 36 à 38).

Il n'en reste pas moins qu'en général les motifs qui ont prévalu lors de la construction de la ligne au choix de la solution souterraine peuvent assez rarement être remis en question aujourd'hui malgré les moyens de terrassement actuellement à notre disposition.



Fig. 38. — Tunnels de Lormont. Vue générale des terrassements.
A l'arrière plan, la nouvelle tête du tunnel 4.

(Cl. Photo I.S.O.)

Par ailleurs, les exemples des tunnels d'Hardelot et de Colmey montrent que les chantiers de mise à ciel ouvert ne sont pas exempts d'aléas et qu'ils doivent faire l'objet préalablement d'une étude très poussée. Ce fut le cas au tunnel de Grattery où l'étude portait non seulement sur la stabilité à long terme des talus mais aussi et plus particulièrement sur leur stabilité en cours d'exécution qui a conduit à prévoir un rabattement par pointes filtrantes.

Ces mises à ciel ouvert nécessitent aussi des acquisitions domaniales de grande étendue et l'on a vu en particulier aux tunnels de La Pommeraie et de Marnay qu'il faut compter très souvent sur des oppositions locales à ce type de travaux de découverte. L'obligation de procéder préalablement à une étude d'impact ne devrait pas à l'avenir faciliter encore ce genre de réalisation.

La déviation de la ligne avec construction de tunnels neufs en limitant les acquisitions de terrain et en respectant le site reste dans bien des cas la solution la plus séduisante. Compte tenu des progrès réalisés dans le percement des tunnels, on peut tabler comme le montre la construction récente des tunnels de La Pommeraie et de Marnay sur des coûts de percement très compétitifs.

Une autre solution en vue d'éviter les dépenses prohibitives d'une remise en état général d'un tunnel à double voie en maintenant les circulations consiste comme nous l'évoquions dans un précédent article ⁽⁶⁾ à construire un nouveau tunnel à une voie à distance suffisante du premier, et à réparer ou chemiser l'ancien tunnel en dehors de toute circulation. Nous n'avons pas d'exemples récents où ce choix s'est trouvé pleinement justifié sous tous ces aspects, technique et financier. Cela tient, comme pour les autres solutions telle que mise en tranchée ou déviation totale de la ligne, à ce qu'il est assez rare que toutes les conditions favorables à l'adoption de cette option puissent être remplies en même temps.

Nous pensons toutefois, compte tenu des coûts extrêmement élevés des confortations des tunnels anciens avec maintien de la circulation ferroviaire qu'à l'avenir, dans les cas où le site se prête bien à une déviation de la ligne avec percement de tunnels neufs, ce type d'opération devrait désormais être pris très sérieusement en considération et adopté par la S.N.C.F. plus fréquemment que par le passé.

⁽⁶⁾ R.G.C.F., juillet-août 1981, page 397 à 420