

LUGIEZ J.

Scetauroute, France

CAUSERO L.

Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Est, France

Utilisation de la terre armée à flanc de vallée sur l'autoroute Paris-Strasbourg

Use of reinforced earth on side long ground on the Paris-Strasbourg motorway

At the Vosges mountains crossing, the Paris-Strasbourg motorway is located on a steep cross wise slope. The solution selected involved cut and fill operations : optimization of the transverse profile led to grade separation and the use of reinforced earth technique. Over a length of 2 kms of motorway, 19 000 m² of walls were built. The layout of the walls was designed by the consulting engineers in cooperation with an architect. The original plans selected guaranteed effective integration of the motorway into the landscape.

1/ Tracé de l'autoroute PARIS-STRASBOURG au franchissement des Vosges -

La "trouée" de SAVERNE constitue dans le massif vosgien une zone de franchissement privilégiée pour les infrastructures de transport. Néanmoins, entre le plateau lorrain et l'entrée dans la plaine d'Alsace le relief présente une dénivelée brutale de 160 m entre le Col de Saverne, à la cote 381 m, et SAVERNE même à la cote 220 m, distants de 2,5 km à peine. Depuis longtemps, le Vallon de Champagne qui constitue la seule entaille notable dans le relief, dégagée de constructions et de voies de circulation, a été retenu pour assurer le passage de l'autoroute PARIS STRASBOURG à travers les Vosges.

Il s'agit d'un thalweg relativement court et étroit (2100 m de longueur entre la cote 380 et la cote 220), situé au nord immédiat de l'agglomération savernoise.

Les premières solutions de passage de l'autoroute étudiées comportaient un passage par le Vallon de Champagne en deux viaducs de 800 et 350 m de longueur, ainsi qu'une tranchée sommitale de 40 m de profondeur.

Le dossier d'études préliminaires établi en 1970 envisageait toutefois déjà une solution à caractéristiques géométriques plus réduites (vitesse de référence 100 km/h, au lieu de 120 km/h), comportant des terrassements sur le flanc du versant nord du Vallon de Champagne, un décalage des deux chaussées de l'autoroute, la réalisation de murs de soutènement pour soutenir les déblais, la construction de 400 m environ de viaduc.

L'étude d'avant-projet sommaire engagée en 1972 par SCETAUROUTE, maître d'oeuvre, pour le compte de la Société du Nord et de l'Est de la France, maître d'ouvrage, s'inspirait de cette solution avec toutefois le souci de parvenir à une intégration plus poussée encore au relief grâce en particulier à une adaptation plus grande encore de l'ouvrage à la pente transversale du terrain.

2/ Solution retenue -

La solution retenue est du type terrassements excluant tout viaduc, grâce à une adaptation très poussée de l'ouvrage au relief transversal du terrain. Cette adaptation ne pouvait bien sûr toutefois résulter que d'une bonne connaissance des caractères géologiques et géotechniques du site, alliée bien sûr à une connaissance topographique précise et à une méthode d'étude géométrique particulière.

Les caractéristiques topographiques, géologiques et géotechniques du site :

Le versant nord du Vallon retenu pour inscrire l'autoroute et qui, de ce fait, présente une exposition vers le sud favorable, offre des pentes transversales de l'ordre de 0,50/0,55. Trois thalwegs secondaires, affluents du thalweg principal, constituent des brèches dans le versant, à franchir par l'autoroute.

L'ensemble du versant intéresse la formation des grès vosgiens caractéristiques de la région ; il s'agit d'un grès fin, diamètre maximum des grains 2 mm, qui s'altère facilement en sable limoneux.

Les vitesses soniques mesurées vont de 1500 à 1700 m/s ; la résistance à la compression des grès compacts varie de 100 à 400 bars. Le sable produit par la fragmentation se caractérise par un pourcentage de fines variant de 4 à 12 % et un équivalent de sable moyen de 22, la teneur en eau à saturation est $W_n = 8$ à 12 %.

Bien que l'extraction des matériaux se fasse par défonçage, voire localement avec emploi d'explosifs, ils se caractérisent par une évolution très rapide en déblais par altération qui les transforme en sable. Les caractéristiques intergranulaires de ce sable sont :

- cohésion très faible inférieure à 5 KPa ;
- un angle de frottement interne compris entre 34 et 37°.

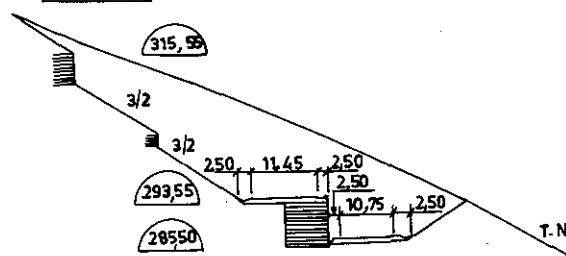
Il convient de noter que les talus constitués par ce grès sont très sensibles à l'érosion. Enfin, et ce point de vue est important pour le choix de la solution retenue, le versant du vallon ne présente pas de difficultés hydrogéologiques et les fonds des thalwegs affluents à franchir ne comportent pas de terrains compressibles.

Les principes directeurs de la solution retenue :

L'ensemble de ces facteurs était bien sûr favorable au choix d'une solution de terrassements dont les principes directeurs ont été les suivants :

- ajuster le tracé en plan de l'ouvrage de façon à épouser au mieux la forme générale du flanc du vallon et éviter les profils mixtes ; la pente du versant étant voisine de l'angle d'équilibre du matériau, il était nécessaire de contenir les talus de déblais par des murs de soutènement.
- limitation de la hauteur des murs par une meilleure adaptation transversale au relief grâce à un décalage en altitude de 8 m des deux chaussées de l'autoroute, ce qui permet d'ancrer la chaussée basse dans les grès stables, de limiter la hauteur du déblai amont et donc des ouvrages de soutènement.
- au droit des franchissements des thalwegs affluents, utilisation de murs de pied de remblais pour limiter l'ampleur de l'ouvrage à construire (hauteur maximum du remblai : 27 m sur l'axe).
- enfin, pour éviter d'avoir à réaliser des soutènements de hauteur considérable d'un seul tenant, il était convenu de retenir une solution de soutènements étagés pour les plus grands talus de déblais, l'objectif étant d'avoir à réaliser des soutènements d'une hauteur de 8 m au maximum environ.

PROFIL 43 - Chaussées décalées. Mur terre armée en déblai



PROFIL 58 - Chaussées décalées. Mur terre armée en remblai

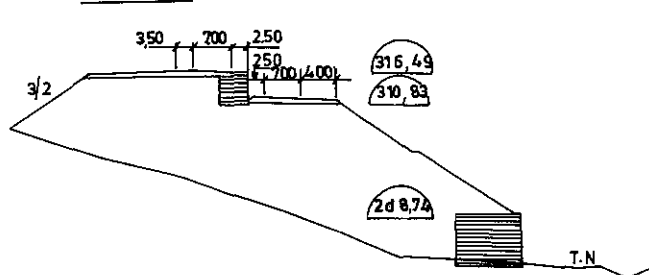


Figure 1 :
Profils en travers caractéristiques

L'ensemble de la réflexion géométrique devait également tenir compte du souhait de disposer d'un excédent de déblais, les grès vosgiens pouvant être réutilisés dans la construction des assises de chaussées.

La technique de la terre armée pour constituer les ouvrages de soutènement a été rapidement retenue, vu l'importance de la surface des soutènements à construire, la nature favorable des matériaux rencontrés pour constituer les massifs armés. L'imbrication très forte prévisible des travaux d'ouvrages de soutènement et de terrassements, du fait notamment du parti pris de soutènements étagés, rendait cette technique très attractive. La préfabrication à l'extérieur du chantier des écailles, les opérations de montage simples, associées à une technique de terrassement pour constituer les massifs armés, laissaient prévoir une bonne intégration au chantier général des terrassements (1 100 000 m³ de déblai pour 2,5 km d'autoroute).

Enfin, les comparaisons de coûts alors effectuées laissaient penser que cette technique serait moins onéreuse que des solutions plus classiques malgré les déblais supplé-

mentaires nécessaires aux massifs armés des murs de soutènement des déblais.

3/ Détermination de la stabilité des ouvrages -

Les sables, issus des grès vosgiens, utilisés comme matériaux pour les massifs de terre armée, ont des caractéristiques qui garantissent dans tous les cas la stabilité interne des massifs armés.

Pour ce qui est de la stabilité d'ensemble un calcul de stabilité a été fait pour le profil et les hypothèses les plus défavorables. Il fait ressortir un coefficient de sécurité égal à 1,52.

4/ Intervention de l'architecte -

L'ampleur de l'ouvrage à construire (près de 20 000 m² de soutènements) et le souci d'assurer une intégration aussi poussée que possible au site, conduisaient le maître d'oeuvre à associer un architecte, M. FRALEU, à la définition des ouvrages.

Visualisée sur maquette au 1/500^{ème} (de 2 x 1 m), l'étude architecturale a conduit à adopter pour l'implantation des murs de soutènement de déblais des dispositions sensiblement différentes de celles primitivement retenues par le bureau d'études.

L'idée essentielle a été de ne pas lier rigidement l'implantation des soutènements de déblais au tracé de l'autoroute, mais à les adapter aux courbes de niveau : les murs de soutènement de déblais ont un tracé en plan courbe, le principal présente même des ondulations multiples. Le mur de soutènement le plus bas n'est plus placé en bordure de l'autoroute mais est séparé de celle-ci par un talus terrassé de développement variable.

Au lieu de réaliser des soutènements ayant une ligne de pied horizontale et une ligne de crête courbe à concavité tournée vers le bas, le parti a été pris de retenir une ligne de crête rectiligne, de même pente (5 %) que l'autoroute, la base des murs étant courbe à concavité tournée vers le haut, pour les murs simples, le raccordement des extrémités des murs au terrain naturel se conjugue alors avec la courbure en plan du tracé du mur. Les éléments de talus terrassés de pente 0,66 situés entre les éléments de murs, offrent ainsi des largeurs variables qui permettent un aménagement paysager moins rigide propre à assurer une transition avec la forêt vosgienne dans laquelle s'inscrit l'autoroute.

Parallèlement à l'étude de l'implantation et du dessin général des murs, l'architecte menait une recherche pour définir un parement d'écaïlle préfabriquée qui atténue si possible le caractère artificiel de l'ouvrage et notamment les réflexions trop brutales de la lumière sur des parements de béton lisse.

L'exposition générale vers le sud du versant permettait même de chercher des solutions offrant des jeux d'ombre et de lumière au cours de la journée. Un motif en relief de l'écaïlle a été recherché, tout d'abord sur des maquettes en bois puis, après sélection de deux modèles, par des essais en vraie grandeur. L'architecte a recherché en l'occurrence un motif destiné à donner du "grain" aux parements ce qui, à terme, devrait une fois la végétation reconstituée sur les déblais, contribuer à la discrétion des ouvrages.

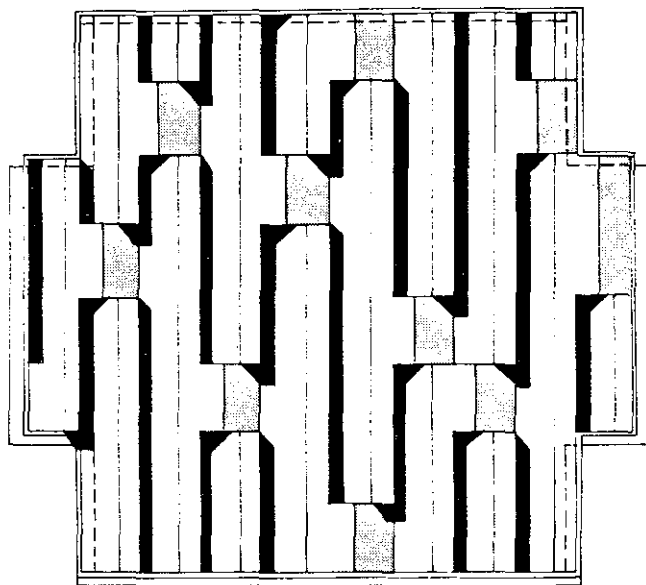


Figure 2 : Motif architectural de l'écaïlle

Le motif retenu est dissymétrique pour l'utilisateur de l'autoroute qui en a une vision tangentielle, le relief visuellement perçu étant différent selon le sens de circulation, l'orientation des écaïlles visibles depuis la chaussée montante est donc opposée à celle des écaïlles du mur de décalage des chaussées visible pour les usagers de la chaussée descendante.

5/ Exécution des travaux -

La fourniture des écaïlles préfabriquées et des armatures en acier galvanisé a fait l'objet d'un marché séparé. Le montage des murs et des massifs armés faisait partie du marché principal des travaux de la section REICHSTETT-PHALSBOURG de l'autoroute A 34.

La surface totale représente 19 000 m² en 8 murs distincts dont le principal est le mur de séparation des deux chaussées qui représente 12 000 m² à lui seul pour une longueur

de 1900 m. Le volume des massifs armés constitués est de 126 000 m³.

L'imbrication des opérations de terrassements et de montage de murs a été totale. Les grès vosgiens terrassés pour l'exécution des massifs armés des soutènements de déblais a parfois exigé l'utilisation de l'explosif.

Les cadences de montage des murs construits entre avril 1975 et mars 1976 ont été de l'ordre de 130 m²/jour.

Au niveau des équipements, la dénivellation entre les deux chaussées de l'autoroute a conduit à prévoir en crête du mur de décalage une barrière type B.H.O. adaptée aux mur et massif armé. Des essais en vraie grandeur ont été effectués préalablement à l'ONSER pour définir les conditions d'implantation de cette barrière.

6/ Conclusion -

Les ouvrages de soutènement du Vallon de Champagne ne présentent pas d'originalité par leur hauteur, ni par le cadre géotechnique favorable où ils s'inscrivent ; plus originales sont l'ampleur de l'utilisation de la technique de la terre armée et la double intégration obtenue :

- au niveau de la conception et de la construction de l'ouvrage, intégration des ouvrages de soutènement dans un chantier de terrassement très important ;

- au niveau de l'ouvrage achevé, une intégration poussée au relief, grâce à un dialogue fructueux entre le bureau d'études et l'architecte.