

VERRIER G.

S.N.C.F., France

Construction d'un remblai en terre armée sous une voie ferrée**Construction of a reinforced earth wall under a railway line**

During the construction of the new railway line due to serve the town of Cergy-Pontoise, the S.N.C.F. was led to provide for a reinforced earth embankment in order to cross the Oise valley.

The reasons for the choice of that embankment were as follows :

- railway premises were very constraining, and it was not possible to provide for an ordinary earth embankment along a protected agricultural zone.
- the ground, which was rather compressible was more likely to withstand a flexible structure than a rigid one.
- the S.N.C.F. was wishing to test this technique for earth structures under railway lines.

The designing and the laying were standard. Some arrangements, however, formed the subject of special studies, namely :

- the sizing of the reinforcement
- the protection of the wall base against floods from the river Oise
- the protection of the embankment against returning tensile stresses
- the drainage of the embankment's surface.

1 - PREAMBULE

Pour relier la ville nouvelle de Cergy-Pontoise à Paris via Nanterre-Université, outre l'utilisation de lignes existantes, deux sections de lignes nouvelles ont été créées :

- la première prolonge la ligne Paris-St Lazare à Nanterre-Université et rejoint à Houilles, la ligne de Paris à Nantes et au Havre
- la deuxième qui nous intéresse se détache de la ligne d'Achères à Creil, sur le territoire de la commune de Neuville et pénètre sur celui de la Ville Nouvelle après avoir franchi l'Oise.

L'obligation de ne pas couper la zone inondable de l'Oise protégée et réservée au Plan d'urbanisme de la Ville Nouvelle de Cergy, a conduit la SNCF à adopter, dans cette zone, un tracé longeant au plus près la rive droite de la rivière et de figer très rapidement la limite d'emprises côté terrains agricoles (figure 1).

A la suite d'une campagne géotechnique précise, il est apparu que le sol en place était constitué d'alluvions modernes dont les 6 mètres supérieurs en éléments fins devaient subir un tassement de 10 à 20 cm sous la charge d'un remblai (figure 2).

Figure 1 - Remblai en terre armée : plan de situation

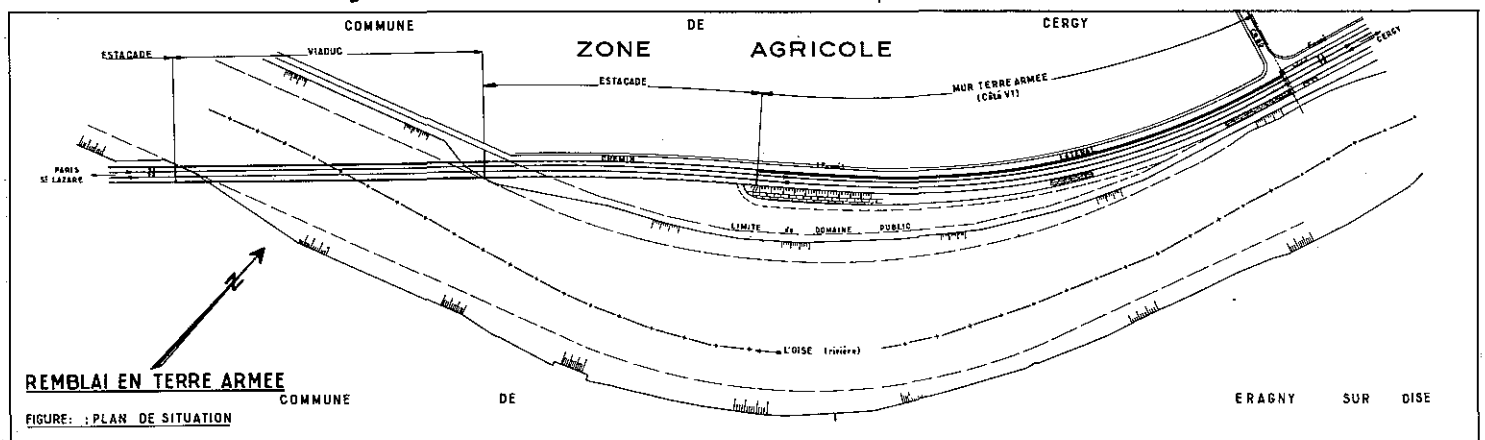
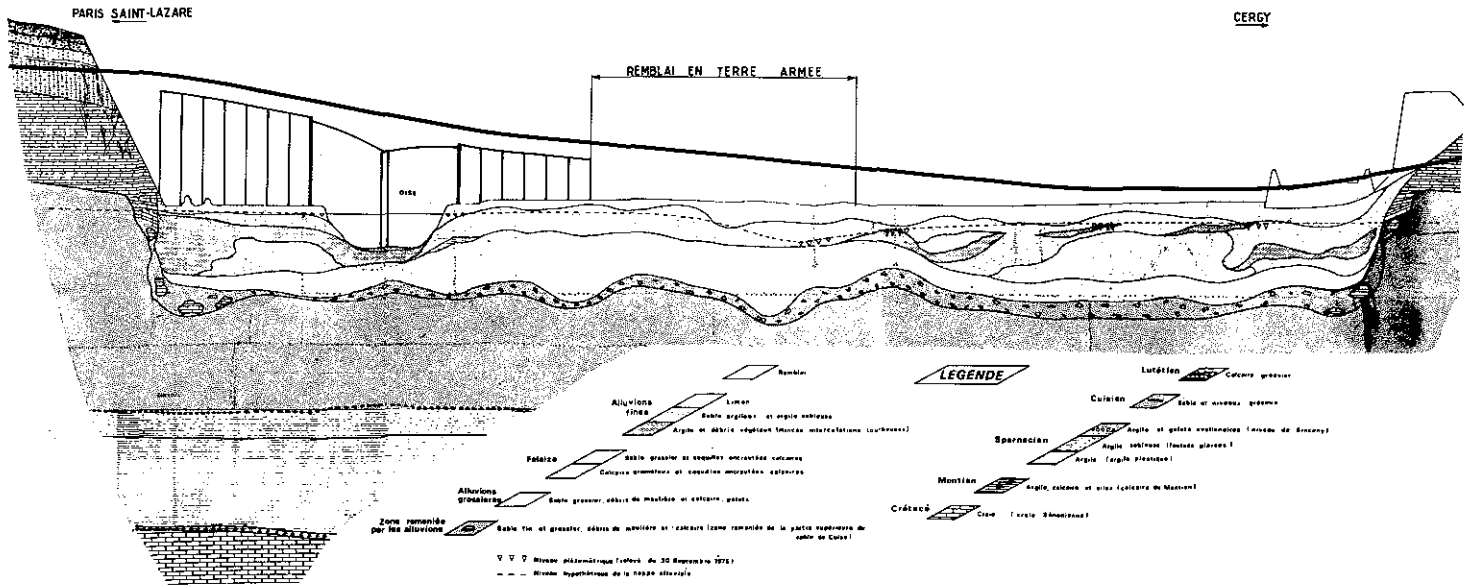


Figure 2 - Remblai en terre armée : coupe géotechnique



REMBLAI EN TERRE ARMEE

FIGURE : COLPE GEOTECHNIQUE

Le franchissement de l'Oise très biais, à cet endroit, est effectué par un ouvrage métallique à deux travées de 105 ml de portée, prolongé de chaque côté par des estacades permettant le passage des crues de l'Oise.

Dans la zone qui nous intéresse, située juste après l'estacade, côté Cergy, plusieurs solutions étaient concevables :

- remblai classique en terre ; mais les emprises réservées ne permettaient plus ce choix.
- prolongement de l'estacade ; solution d'un coût très élevé et inesthétique du fait de sa faible hauteur par rapport au terrain naturel (de l'ordre de 6 ml).
- construction d'un mur de soutènement classique, côté terrains agricoles ; mais les terrains étant compressibles, il fallait prévoir un mur avec des fondations profondes, donc très onéreux.

Enfin, des désordres pouvaient être à craindre au contact mur/remblai, compte tenu des tassements à attendre sous le remblai.

Le choix tant technique qu'économique, s'est donc porté vers un mur en terre armée (figure 7).

- En effet, cette technique permet :
- d'associer le remblai à son "parement" et d'avoir ainsi un tassement homogène,
 - de réduire le coût de l'ouvrage vis à vis de l'estacade ou du mur de soutènement,
 - d'offrir vu de la Ville Nouvelle, un ouvrage discret et esthétique pouvant être d'ailleurs aménagé avec des plantes grimpantes.

2 - DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage a 366 ml de longueur.

Sa hauteur varie de 6,60m côté estacade à 2,20m où il est ensuite prolongé par un remblai classique.

La largeur de l'ouvrage en crête est de 11,40 ml, permettant de recevoir deux voies ferrées à écartement normal de 1,44m séparées par un entr'axe de 3,62m. La ligne est électrifiée en courant alternatif 25 000 Volts, 50 Hz.

Seul, le demi-remblai côté terrains agricoles est constitué par un ouvrage en "terre armée" limité par un parement constitué d'écaillés en béton.

Nous reviendrons plus avant sur la semelle de réglage et sur le couronnement.

L'autre demi-remblai côté "Oise" est constitué par un ouvrage classique mais, compte tenu des crues de l'Oise, la partie inférieure du talus est protégée par un perré préfabriqué non jointif et engazonné permettant, après une période de crues, l'essorage du pied du remblai, sans entraînement des matériaux de remblai.

Le corps de remblai est constitué de matériaux graveleux 0/80 mm provenant des alluvions anciennes de la Seine. Ce matériau est excellent pour la mise en remblai. Il constitue un très bon matériau "frottant" pour le contact terre-armatures. Pour des raisons de facilité de mise en oeuvre, il a été ré-

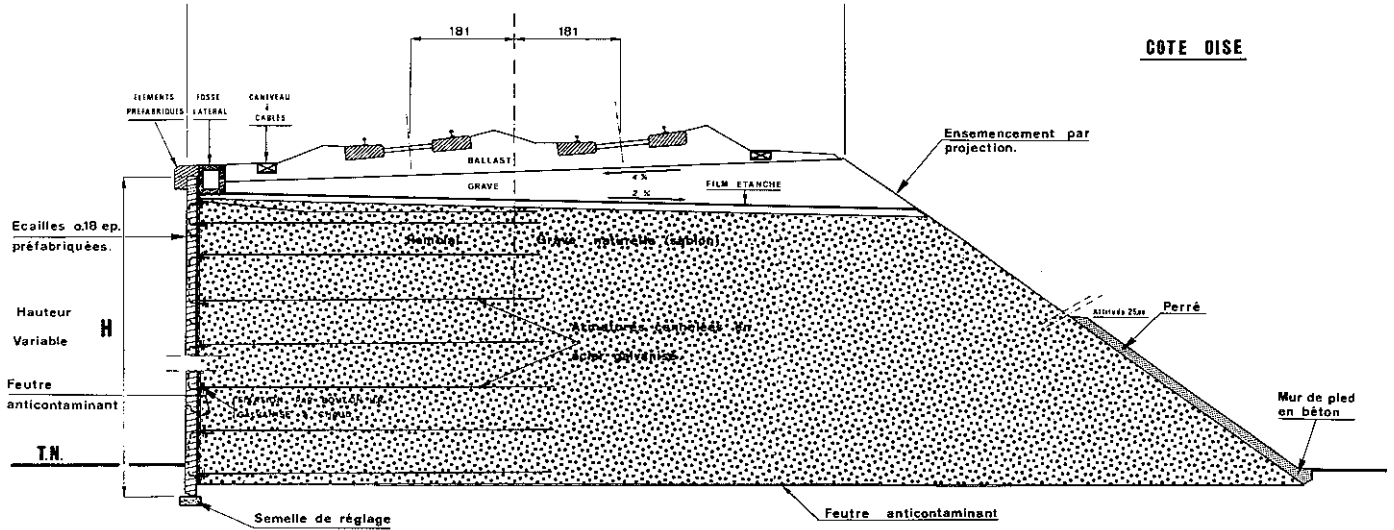


FIGURE : REMBLAI TERRE ARMÉE - PROFIL EN TRAVERS TYPE

pandu en couches homogènes de 0,37m, aussi bien dans la zone terre armée que dans la zone classique.

Afin de réduire les pertes en fines du matériau du remblai, surtout lors des crues, l'ensemble a été protégé par un feutre anticontaminant placé :

- d'une part, à la base du remblai,
- d'autre part, verticalement à l'arrière du parement de la terre armée, et sous le perré côté Oise, jusqu'à + 1m au-dessus du niveau des plus hautes eaux (figure 3).

3 - PRECAUTIONS PRISES LORS DE LA MISE EN OEUVRE DU MUR EN TERRE ARMÉE

S'agissant du premier mur construit par la SNCF sous une voie exploitée, nous avons décidé de prendre certaines précautions qui sont décrites ci-dessous :

3.1 - Choix du matériau de remblai

Les recommandations de la Société "Terre Armée" n'obligent pas à l'utilisation d'un matériau graveleux 0/80 mm mais nous avons préféré le prescrire, étant donné ses qualités de frottement et sa relative insensibilité aux variations de teneur en eau.

Nous avons précisé plus haut, les précautions prises vis à vis des crues de l'Oise, notamment la protection par un feutre anticontaminant.

3.2 - Dimensionnement des armatures

Afin d'assurer une pérennité centennale, les armatures ont 5 mm d'épaisseur. Elles sont en plats cannelés de 40 x 5 mm en acier galvanisé dont l'épaisseur de galvanisation est de 95 microns de zinc par face.

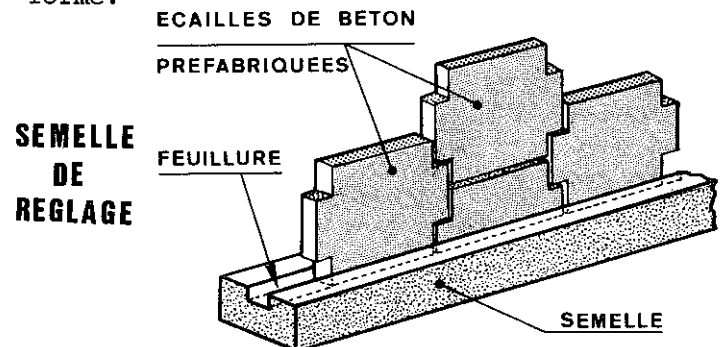
Pour suivre l'évolution de la corrosion, des armatures témoins ont été mises en place dans les mêmes conditions que celles qui retiennent les écailles du parement béton. Toutefois, au lieu d'avoir ce rôle mécanique, elles traversent le parement par des évidements prévus à cet effet et leur extrémité est accessible depuis l'extérieur du remblai.

Des essais de traction périodiques permettront de détecter toute anomalie.

3.3 - Semelle de fondation du parement

Compte tenu du tassement attendu et de la nécessité de réaliser un ouvrage courbe parfaitement dressé, nous avons demandé que la fondation soit particulièrement soignée. Elle a été réalisée dans les conditions suivantes :

- Implantation précise et réalisation de la fouille
- Coulage d'une semelle ordinaire de dimensions déterminées, compte tenu de la portance du terrain (0,60 x 0,25)
- Réalisation d'une feuillure de largeur très peu supérieure à 22 cm, épaisseur des écailles de la base du parement. Cette feuillure a été tracée en plan avec une bonne précision pour que la première rangée d'écailles qui s'y loge, épouse parfaitement la courbe homothétique de l'axe de la plateforme.



3.4 - Protection de la partie supérieure du massif

Les crues de l'Oise peuvent modifier la teneur en eau de la base du massif. Mais, il s'agit d'un phénomène de faible périodicité (de 1 à 5 ans) qui est suivi d'un essorage.

Par contre, nous avons estimé important de protéger le massif contre les eaux zénithales. Bien que la structure d'assise mise en oeuvre sous la voie soit assez imperméable, nous avons demandé la mise en place à la partie supérieure du remblai d'un film

étanche de polyéthylène armé (115 g/cm²) penté à 4% vers l'Oise.

De ce fait, le massif doit rester, notamment dans sa partie supérieure, à une teneur en eau constante voisine de l'Optimum Proctor.

4 - OUVRAGES SPECIAUX ADAPTES A LA VOIE FERREE

Etant donné l'étroitesse de la plateforme ferroviaire, il était nécessaire d'adapter le couronnement du mur en terre armée.

4.1 - Caniveau d'écoulement des eaux

Malgré la protection contre les eaux zénithales de la partie supérieure du remblai, par un film étanche ramenant les eaux dans le talus côté Oise, il est apparu nécessaire de recevoir la partie des eaux zénithales ruisselant sur les sous-couches pentées vers le parement de la terre armée dans un caniveau coulé sur place à la limite des écaïlles supérieures.

Dans un souci d'esthétique, un couronnement préfabriqué arase le niveau supérieur des écaïlles et cache le caniveau (figure 5).

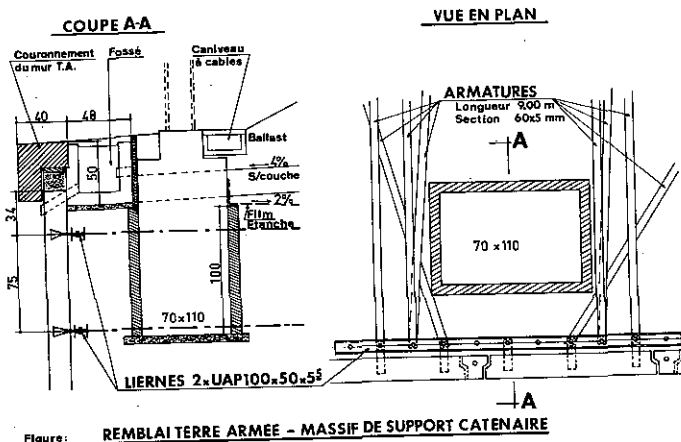
4.2 - Coffrage pour les massifs caténaires

La répartition normale des armatures dans le remblai "Terre armée" ne permet pas la mise en place des massifs de supports caténaires.

Au droit de ces massifs, il a fallu imaginer un dispositif permettant de modifier la répartition des armatures sans augmenter les contraintes dans chacune d'elle et d'assurer le maintien des écaïlles.

Le problème a été résolu par la fixation aux écaïlles de liernes métalliques formant chevette sur lequel les armatures sont boulonnées.

Figure 5 - Massif d'un support caténaire - Caniveau et couronnement



Par ailleurs, il n'était pas possible de couler immédiatement le massif support caténaire. Aussi, une chambre constituée d'éléments de regards préfabriqués, forme l'emplacement réservé (figure 5).

5 - ETUDES ENTREPRISES PAR LA SNCF

A l'occasion de cette réalisation, la SNCF a entrepris et poursuit actuellement des recherches afin de mieux définir ses prescriptions.

La présence des convois ferroviaires (à proximité des ouvrages en terre armée) est prise en compte, comme pour un mur de soutènement classique, dans le calcul de dimensionnement des armatures, par application des circulaires ministérielles.

Les précautions spéciales suivantes ont été prises :

5.1 - Corrosion engendrée par les courants vagabonds

La traction électrique à la SNCF utilise le courant continu 1500 V et le courant alternatif 25 Kv - 50 Hz. L'alimentation par 3ème rail est pratiquement disparue et se fait maintenant par caténaire à partir de sous-stations réparties le long des lignes. Le captage du courant s'effectue par le pantographe, le courant retourne à la sous-station par l'intermédiaire des rails.

L'isolement électrique rail/sol n'est pas parfait ; des courants vagabonds circulent dans la terre.

Ils empruntent des trajets absolument imprévisibles et peuvent être rencontrés à des distances dépassant la dizaine de kilomètres. Par ailleurs, leur intensité peut être importante aux abords des sous-stations.

Aussi, lorsqu'il s'agit de courant continu, des phénomènes d'électrolyse peuvent être engendrés au contact sol/métal.

C'est évidemment un phénomène à craindre sur le massif terre armée, où l'électrolyse attaquant des armatures, en diminue l'épaisseur et donc la résistance.

Nous avons mis à l'étude, l'influence des courants sur les armatures de terre armée dans un remblai expérimental (remblai classique dans lequel ont été installées des armatures) de la ligne de Cergy, situé à moins de 2 km du R.E.R, alimenté en courant continu à 500 V.

Bien que les premiers résultats soient encourageants, tant que les conclusions de l'étude ne seront pas nettement probantes, nous n'utiliserons pas la "terre armée" en remblai de voie ferrée électrifiée en courant continu.

Lorsque la terre armée sera utilisée comme remblai sous voie ferrée électrifiée en courant alternatif 25 Kv - 50 Hz, les prescriptions suivantes seront néanmoins appliquées, afin de réduire au maximum les conséquences de la circulation de courants vagabonds :

- utilisation d'un matériau de remblai ayant une résistivité élevée notamment dans la partie du massif qui recouvrera les armatures supérieures
- mise en place sous les sous-couches d'un film plastique
- utilisation en parement d'écailles en béton
- pose des armatures effectuée de telle sorte que celles-ci n'aient aucun contact ou liaison entre elles
- les armatures qui doivent être croisées (par exemple dans des murs en retour) ne devront jamais être en contact mais décalées d'un demi espacement (soit 37,5 cm)
- les massifs des poteaux caténaux ne devront pas être en contact avec les armatures.

5.2 - Vibrations engendrées par les circulations ferroviaires

Lors du passage des convois, la voie ferrée est soumise à un régime complexe des vibrations dues à la succession des charges roulantes, au contact rail-roue et aux irrégularités des contacts de roulement. Ces vibrations se répartissent sur 3 bandes de fréquence :

- de 1 à 5 Hz de faible propagation,

- de 20 à 50 Hz pratiquement les seules transmises par le sol,
- de 500 à 2 000 Hz correspondant au bruit et presque entièrement transmises par voie aérienne.

L'influence de ces vibrations sur le comportement du matériau constituant le remblai est mal connue. On peut supposer que ces vibrations provoquent une chute de la valeur du frottement terre-armature. Par un calcul théorique (méthodes par "éléments finis"), on a pu montrer que cette chute du coefficient de frottement terre/armature augmente quelque peu les efforts dans les armatures : en partie supérieure du remblai, ces efforts se trouvent augmentés d'environ 20% alors que l'influence est quasi nulle en partie inférieure. Ceci nous a amené à prescrire pour le calcul des ouvrages en terre armée sous voie ferrée la règle ci-après :

Lorsque la surcharge ferroviaire est appliquée en tout ou partie à l'intérieur du coin de Coulomb (défini sur le croquis ci-après), il y a lieu d'appliquer aux efforts maximaux calculés dans les armatures, un coefficient de majoration décroissant avec la profondeur (voir graphique figure 6).

Lorsque la surcharge ferroviaire est appliquée en dehors du coin de Coulomb, aucune disposition particulière n'est à prendre.

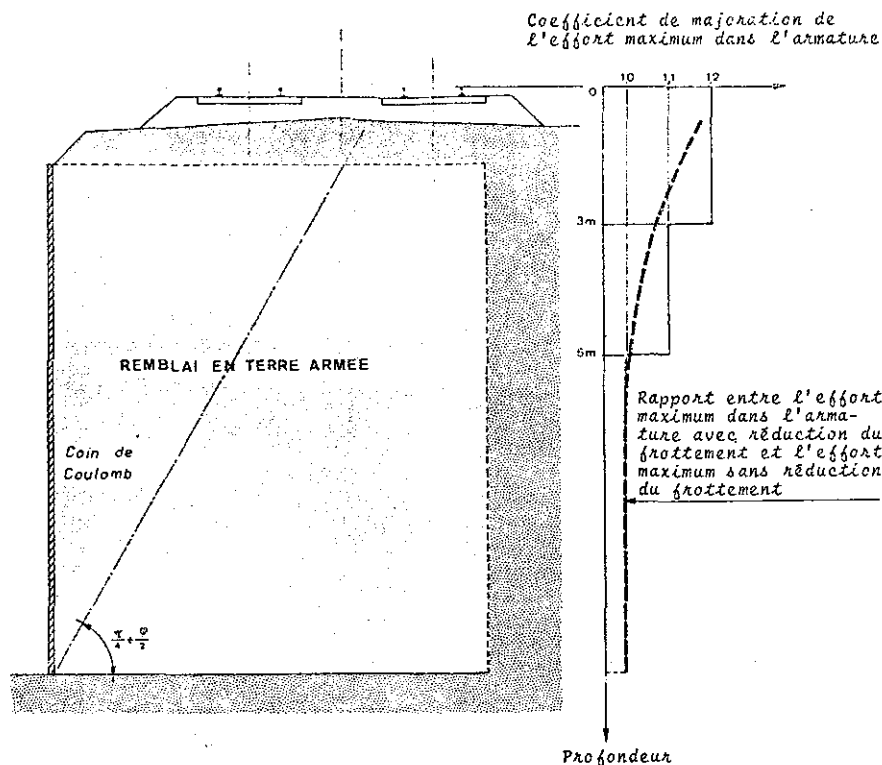


Figure 6

6 - CONCLUSION

La SNCF avait déjà autorisé certaines constructions en terre armée dans ses emprises, soit pour le compte de tiers, soit pour son compte propre.

Nous citerons :

- le Val des Escholiers (région de Reims) où un mur situé en bordure des voies ferrées permet la protection de celle-ci contre des chutes de blocs venant d'un fond supérieur.
- la création d'un mur dans la vallée de l'Allier (région de Clermont-Ferrand) destiné à soutenir un grand remblai dans une zone instable.

Le remblai de Cergy est le premier ouvrage sous voie ferrée qui a été réalisé en France.

A cette occasion, des règles et des précautions particulières ont été dégagées.

Cette technique ne sera pas systématiquement employée mais son utilisation permettra de résoudre des problèmes particuliers. Dans chaque cas, une étude spécifique sera effectuée par la Direction de l'Équipement de la SNCF afin de prendre en compte tous les paramètres ferroviaires.

Figure 7

